

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi. Tébessa

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences
de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de Fin d'étude présentée en vue l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

***THEME : INTERACTIONS DES FONDATIONS ET DES SOLS
GONFLANTS :***

***PATHOLOGIE ET ETUDES EXPERIMENTALES : CAS DE LA
NOUVELLE VILLE DOUKKANE .TEBESSA***

Présenté par :

Daira Sandra et Bouchekioua Sana

Devant le jury:

Pr. Boumezbeur Abderrahmane	Professeur	U.L.T Tébessa	Président
Dr. Djabri Mohamed	M.C « B »	U.L.T Tébessa	Examineur
Dr. Aoun Mounira	M.C « B »	U.L.T Tébessa	Rapporteur
Dr. Mouici Ridha	M.C « B »	U.L.T Tébessa	Co promoteur

Date de soutenance : 06 juillet 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents
sans eux je ne serais pas arrivé jusque là*

*A ma sœur **Semeh** et son époux **Haider***

*A mon frère **Walid**, mon frère **Mehdi***

*Et son épouse **Anissa** à mes adorables neveux et
nièce **Adem Rokaya** et **Wassim Kenzy***

*A ma défunte tante **Fatiha** que dieu lui ouvre les
portes de son paradis.*

*Enfin je tiens à remercier également toutes les
personnes qui ont participé de près ou de loin à la
réalisation de ce travail et à qui je témoigne toute
mon affection.*

SANDRA

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à: Mes chers parents qui
m'ont soutenu tout au long de mes études*

A mes frères et mes sœurs

*A toute ma famille , et a tous mes amies sans
exception*

Atous , je les remercie du fond du cœur

SANA

Remerciement

Au terme de ce travail nous tenons à louer Allah le tout puissant pour nous avoir donné la chance la volonté et le courage nécessaire pour mener ce travail a bout nous souhaitons qu'il nous montre d'autre jours meilleurs.

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent à nos encadreur Dr **Aoun Mounira** et Dr **Mouici Redha** qui nous ont accordé l'honneur de diriger ce travail et de nous avoir fait bénéficier de leur précieuse aide et de leurs connaissances*

Nous remercions également l'honorable jury qui a bien voulu examiner notre travail.

Nos professeurs qui nous ont enrichis de connaissances et tout le département de science de la terre et l'univers.

Tous les membres du Laboratoire des Travaux Publics d'Est.

SANDRA

SANA

LISTE DES SYMBOLES

Ac: Activité.
Ip: Indice de plasticité.
Ps, Pg, σ_g : Pression de gonflement.
Pc: Pression de consolidation
pa : Pression atmosphérique.
W_n: Teneur en eau naturelle.
W_L: limite de liquidité.
w: Teneur en eau.
W₀: Teneur en eau initiale.
W_{opt}: Teneur en eau optimale.
C: Cohésion
CEC: capacité d'échange cationique.
Z, H: Profondeur.
M: Facteur caractérisant le poids de la procédure.
Wr: Limite de retrait.
C, F₂ : Pourcentage de la fraction argileuse.
VB: Valeur de bleu de méthylène
w_L: Limite de liquidité.
e: Indice de vide.
F: Surface de charge Ir: Indice de retrait.
R_L : retrait linéaire.
 γ_{dmax} : densité humide maximale.
 γ_{di} : densité humide initiale.
I_g, C_s et CH : indice de gonflement.
S_p: Potentiel de gonflement.
IL : indice de liquidité.
W_p : Limite de plasticité.
Q, σ : surcharge verticale.
 σ_v : Pression de confinement Ag
Ag, ε_g : Taux de gonflement
 γ_d : Poids volumique sec.
 σ_s : Gonflement libre r:
r²: coefficient de corrélation

LISTE DES TABLEAUX

Tableau-II-1 : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité.....	16
Tableau-II-2 : Potentiel de gonflement d'après Chen (1988) (Ejjaaouani, H., 2008).....	17
Tableau-II-3 : Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman (1973) (Aoun M., 2016).....	19
Tableau-II-4 : Résumé sur les modèles empiriques du calcul du taux de gonflement ϵ_g et de la pression de gonflement σ_g dans la littérature (Aoun M., 2016)	20
Tableau -IV-01-a : Résultats des essais de laboratoire pour les sondages S1, S2 S3 et S4....	54
Tableau-IV-1-b : Résultats des essais de laboratoire pour les sondages S5 et S6.....	55
Tableau -IV-2-a : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al., 1962).....	58
Tableau -IV-2-b : Classification des sols étudiés d'après la relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité établie par de Seed et al. (1962).....	58
Tableau -IV-3 :- Potentiel de gonflement d'après Chen (1988).....	58
Tableau-IV-4 : Les résultats de VB (g/100 g) / au degré de gonflement réalisés par Yeliz Yukselen, Abidin Kaya (2008).....	62
Tableau-IV-5 : Classification du degré de gonflement pour les sols étudiés d'après Yeliz Yukselen, Abidin Kaya (2008).....	62
Tableau IV-6 :- Tableau récapitulatif de différentes méthodes de classification.....	63

LISTE DES FIGURES

Figure -1-Répartition des sols gonflants aux USA (au sens du génie civil) (J. P. MAGNAN, 2013).....	02
Figure-2-Principaux gisements d'argiles gonflantes au Maroc (Ejjaaouani, 2008 in J.P. MAGNAN, 2013).	02
Figure-I-1-Argile naturelle (MEB)	04
Figure-I-2-Structure élémentaire de la Kaolinite (Mazouz 2010).....	05
Figure-I-3- Structure élémentaire de la Montmorillonite (Mazouz 2010).....	06
Figure -I-4-Structure élémentaire de L'Illite (Mazouz, 2010).....	06
Figure -I-5-Structure des sols gonflants d'après Gens et Alonso (1992).....	07
Figure -I-6-types de gonflements	08
Figure-I-7-Mécanismes des gonflement des argiles par hydratation (Bouزيد, 1997 ; Bengraa, 2004 ; Gueddoudda, 2005).	09
Figure-I-8-Influence de la teneur en eau sur la pression de gonflement mesuré par la méthode des gonflement libre ($\gamma_{dmoy}=14,5 \text{ k N/m}^3$) (Guiras-Skandaji, 1996 ;Medjnoun, A., 201)	10
Figure-I-9-Évolution du taux de gonflement final en fonction de la teneur en eau initiale	10
Figure-I-10- Influence de la teneur en eau initiale sur la pression de gonflement de la bentonite (la densité sèche des échantillons est indiquée en Mg/ml (Villar et Lloret, 2008)	11
Figure-I-11- Déformations finales des essais saturés sous une pression verticale de 0,1 MPa sur des échantillons compactés à différentes densités sèches initiales et teneurs en eau. (Villaret Lloret, 2008)	11
Figure-I-12-Déformation finale obtenue des essais de gonflement libre effectués avec des Échantillons d'une densité sèche initiale de $1,70 \text{ Mg/ m}^3$: résultats expérimentaux et Prédications avec l'équation (1) (Villar et Lloret, 2008).	11

LISTE DES FIGURES

Figure-1-13- Variation de la pression de gonflement avec la densité sèche initiale. (Guiras, 1996)	12
Figure-I-14- Pression de gonflement d'un essai de gonflement empêché et taux de gonflement d'un essai de gonflement libre (Villar et Lloret, 2008).	12
Figure-1-15- Le potentiel et la pression de gonflement en fonction du pourcentage de bentonite (Tabani, 1999).	13
Figure –II-1- Classification proposée par Seed et al. (1962) (Medjnoun, A., 2014, Aoun M., 2016).	16
Figure-II-2- Classification des sols gonflants de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; David et Komornik(1969) (Ejjaaouani, H., 2008).	17
Figure-II-3- Abaque de classification de Williams et Donaldson (1980) (Ejjaaouani, H., 2008).	18
Figure-II-4- Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman,1973) (Ejjaaouani, H., 2008).	18
Figure-II-5- Méthode de gonflement libre à l'appareil oedométrique. (Benaissa Mohamed , 2011)	22
Figure-II-6-- Méthode de gonflement à volume constant (Benaissa Mohamed , 2011)	23
Figure –II-7- Méthode sous charge constante (Benaissa Mohamed , 2011)....	24
Figure-II-8- Cellule oedométrique type TERZAGHI.	24
Figure-III-1- Formes et Directions de Fissuration, (Ejjaaouani 2008). (Bâtiment reposant sur un sol sujet au gonflement ou au retrait)	28
Figure –III-2- (a) (b)- photos montrant l'état actuel des quelques construction dans la région d'études (commune d'EL Kouif) manifestation du retrait – gonflent et effet de sulfate. (Aoun M, 2016)	29
Figure-III-2 (c) - photos montrant l'état actuel des quelques construction dans la région d'études (commune d'EL Kouif) : dégradation complète de quelques constructions. (Aoun M, 2016)	30
Figure –III-3- Dégradations de chaussées (Ejjaaouani 2008	31

LISTE DES FIGURES

Figure –III-4- (a)- : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013)	33
Figure -III-4- (c) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013)	34
Figure III-4- (d) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013)	34
Figure – III-5-(a) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions Setif (C T C- E S T)	35
Figure –III-5- (b) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions (CEM KHEMISTI SETIF) (C T C- E S T)	36
Figure –III-5-(c) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions (CEM KHEMISTI SETIF) (C T C- E S T)	37
Figure - IV-1- Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth)	39
Figure IV-2- Carte géologique de la région de Tébessa où se situe la zone d'étude(ANRH, 2009).	41
Figure IV-3- Description tectonique et structurale de la région de Tébessa(Berrah, 2017).	42
Figure –IV-4- Extrait de la carte géologique de Tébessa (à échelle 1/5000) montrant la situation de la zone d'étude.	46
Figure –IV-4- : Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa (Djabri L.1987Latrech M., 2014).	48
Figure – IV-5 Localisation des sondages carottés exécuté pour le site porteur de la cité 100/1000 logement de Doukkane (photo aérienne du site pat Google Earth).	49
Figure – IV-6- Coupe géologique locale reliant les sondages carottés S3, S4, S5 et S6.	49
Figure –IV-7- Répartition de la précipitation annuelle à la ville de Tébessa···	51
Figure –IV-8- Répartition de la température moyenne annuelle à la ville de Tébessa.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure –IV-9- Répartition de l’humidité moyenne annuelle à la ville de Tébessa.....	52
Figure –IV-10- Carte piézométrique de la Nappe de Tébessa (Fahdi et al., 2014).....	53
Figure –IV-11- schéma d’implantations des points de sondage (LTP EST 2013).....	56
Figure –IV-12- Classification proposée par Seed et al. (1962), appliqué pour les sols études (cas d’étude : cité 100/1000 logement de Doukane)	57
Figure –IV-13- Classification des sols gonflants d’après Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; David et Komornik (1969).	59
Figure–IV-14- Classification proposée par Van der Merve (1964) ; Williams et Donaldson en (1980).	60
Figure –IV-15- Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman, (1973) appliquée pour le cas d’étude.	61

Résumé :

L'estimation rapide des paramètres de gonflement d'un sol est très intéressante pour les projets de génie civil. En vérité c'est une considération à grand intérêt économique pour l'étude et la réalisation d'un projet. Elle permet de réduire le coût et la durée des travaux du projet. La détermination du caractère du sol peut aider au bon choix des types de fondation à adopter pour un site donné. Dans la région de Tébessa (Nord Est de L'Algérie), plusieurs constructions ont été bâties sans prendre en considération le caractère gonflant du sol. Cet état à mener actuellement vers des dégâts irrémédiable pour ces constructions.

Dans ce contexte, nous avons réalisé le présent travail à travers le quel, nous avons appliqué des méthodes de caractérisation des paramètres de gonflement pour les sols de fondation de la cité 100/1000 logements à Doukane (Tébessa, Nord- Est de l'Algérie), dans les différentes parties de ce travail nous avons tiré d'importantes conclusions sur la zone d'étude comme nous avons aussi aboutis à d'intéressantes résultats.

Du point de vue géologique, les sols de fondation sont formés par des couches d'aspect lenticulaire, dont certains sont des formations plastiques (marnes verdâtres peu compactes à présence de gypse) ; et d'autre pouvant être des réservoirs d'eau (tufs graveleux à galets). Les paramètres climatiques variables entre saison sèche et saison humide peuvent mettre les sols dans des états instables (hydratation et déshydratation). La fluctuation de la nappe phréatique est près de la surface où les sols seront quasiment non saturés, le phénomène de retrait sera fréquent surtout en période sèche, à l'inverse le gonflement peut avoir lieu en période humide.

La caractérisation géotechnique des sols étudiés, a été faite sur la base des données géotechniques (paramètres physiques et mécaniques des sols) dont les essais sont réalisés au laboratoire LTP Est (unité de Tébessa). Les résultats ont montré que les paramètres de gonflement sont en générale entre moyens à élevés. Les résultats de la pression de gonflement libre déterminé au laboratoire sont surestimés, peut-être à cause du choix du type de l'essai, les valeurs indiquent un gonflement très élevé à critique.

Sur la base des résultats obtenus nous avons proposé des recommandations qui peuvent être préconisées. Avant ou après la mise en place de la construction.

Mots clé : Sol gonflant - Retrait-gonflement – Caractérisation – Classification – Paramètres de gonflement – Pression de gonflement - Cité Doukane

Abstract :

The rapid estimation of the swelling parameters of a soil is very interesting for civil engineering projects. In reality, it is a consideration with great economic interest for the study and the realization of a project. It reduces the cost and the duration of the project work. Determining the character of the soil can help in the correct choice of the types of foundation to adopt for a given site. In the region of Tebessa (North East of Algeria), several constructions have been built without taking into account the swelling character of the soil. This state currently leads to irreparable damage to these constructions.

In this context, we carried out the present work through which, we applied methods of characterization of the parameters of swelling for the foundation soils of the city of 100/1000 apartment in Doukane (Tébessa, North-East of Algeria), in the different parts of this work we have drawn important conclusions about the study area as we have also led to interesting results.

From a geological point of view, the foundation soils are formed by layers of lenticular aspect, some of which are plastic formations (greenish marls not very compact with the presence of gypsum); and others that can be water reservoirs (gravelly pebble tuffs). The variable climatic parameters between dry season and wet season can put soils in unstable states (hydration and dehydration). The fluctuation of the water table is near the surface where the soils will be almost unsaturated, the phenomenon of shrinkage will be frequent especially in dry period, and conversely the swelling can take place in wet period.

The geotechnical characterization of the soils studied was made on the basis of geotechnical data (physical and mechanical parameters of the soils), the tests of which are carried out at the LTP East laboratory (Tébessa unit). The laboratory-determined free swelling pressure results are overestimated, possibly due to the choice of test type, values indicate very high to critical swelling.

On the basis of the results obtained, we have proposed solutions which can be recommended before or after the implementation of the construction.

Keywords: Swelling soil - Swelling shrinkage – Characterization-Classification - Swelling parameters - Swelling pressure - Doukane's city.

ملخص:

إن التقدير السريع لخصائص الانتفاخ لدى التربة أمراً مثيراً للاهتمام للغاية بالنسبة لمشاريع الهندسة المدنية . و هو يعد في الحقيقة اعتباراً اقتصادياً هاماً للدراسة المشروع إذ يقلل من تكلفة ومدة عمل المشروع ، كما يمكن أن يساعد في تحديد طبيعة التربة و الاختيار الصحيح لأنواع الأسس التي باعتمادها لموقع معين . في منطقة تبسة (شمال شرق الجزائر) ، تم بناء العديد من الإنشاءات دون مراعاة خاصية الانتفاخ للتربة . و قد أدى هذا الإهمال حالياً إلى ضرر لا يمكن إصلاحه لهذه المنشآت

في هذا السياق، قمنا بإنجاز هذا العمل والذي من خلاله طبقنا عدة طرق لتمييز خصائص الانتفاخ في تربة الأساس للحي السكني 1000/100 الواقع بضاحية الدكان (تبسة شمال شرق الجزائر). ، في الأجزاء المختلفة من هذا العمل، توصلنا إلى استنتاجات مهمة حول التربة المكونة لمنطقة الدراسة، كما تحصلنا أيضاً على نتائج مثيرة للاهتمام.

من حيث التكوينات جيولوجية، تتشكل تربة الأساس من طبقات ذات شكل عدسي، بعضها عبارة عن تكوينات ذات لدونه عالية لطين أخضر غير صلب مع احتوائه على عنصر الجبس)؛ وغيرها التي يمكن أن تكون خزانات للمياه الجوفية (طف صخري يحتوي على الحصى). يمكن للعوامل المناخية المتغيرة بين موسم الجفاف والموسم الرطب أن تتسبب في حالات عدم استقرار للتربة (الترطيب والجفاف). كذلك تغير مستوى المياه الجوفية بالقرب من السطح قد يجعل التربة غير مشبعة تقريباً ، وستكون ظاهرة الانكماش متكررة خاصة في فترة الجفاف، على العكس من ذلك يمكن أن تحدث ظاهرة الانتفاخ في الفترة الرطبة.

بالنسبة للتصنيف والتمييز الجيوتقني للتربة التي تم دراستها على أساس البيانات الجيوتقنية (الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للتربة) ، والتي تم اختبارها في مختبر الأشغال العمومية للشرق (وحدة تبسة) فقد أظهرت النتائج أن معاملات الانتفاخ تتراوح بشكل عام بين متوسطة وعالية. هذا بالنسبة لتطبيق الطرق الغير مباشرة. أما في ما يخص الطرق المباشرة و التي يتم من خلالها فحص التربة عن طريق التجارب المخبرية فلاحظنا أن نتائج ضغط الانتفاخ الحر مبالغ فيها ربما بسبب نوع التجربة المختارة. مع ذلك فهي تشير إلى ضغط انتفاخ مرتفع جداً.

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها، اقترحنا الحلول التي يمكن التوصية بها سواء قبل أو بعد إنجاز البناءات بشكل عام.

الكلمات المفتاحية : تورم التربة-انكماش/انتفاخ-تمييز- تصنيف - معلمات التورم - ضغط التورم- حي الدكان.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement	
I-1 Introduction	03
1.2. Les argiles	04
I-2-1 - Caractéristiques des argiles gonflantes	04
I-2-2- Structure moléculaire microscopique des argiles.....	05
I-2-2-1 - Kaolinite	05
I-2-2-2 - Montmorillonite	05
I-2-2-3 – Illite	06
I-3- Gonflement du sol.....	06
I.3.1- les sols gonflants.....	06
I-3-2- Mécanisme du gonflement	07
I-3-2-1-Composantes mécaniques du gonflement	07
I-3-2-2-Composantes physico-chimiques du gonflement	08
I.3.3 -Les types de gonflement	08
I-3-3-1- Le gonflement inter foliaire	08
I-3-3-2- Le gonflement interarticulaire.....	09
I-3-4- Les paramètres influant sur le gonflement	09
I-3-4-1- L'état initial du sol.....	09
I-3-4-2- La teneur en eau initiale	09
I-3-4-3- La densité sèche	11
I-3-4-4- La minéralogie	13
I-3-4-5- Les cycles d'humidification séchage.....	13
I-3-4-6- La température.....	14
Conclusion	14
Chapitre II : Caractérisation des sols gonflant	
II-1 Introduction	15
II-2 Investigation expérimentale au laboratoire	15
II.3 Les méthodes empiriques (indirectes).....	16
II.3.1. Méthode de Seed et Al. (1962).....	16
II.3.2 Méthode de Chen (1988)	17
II.3.3 Méthode de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973).....	17
II.3.4 Méthode de Williams et Donaldson (1980).....	18
II.3.5 Méthode de Dakshanamurthy et Raman (1973)	18
II-4 Méthodes directes de caractérisation	22
II-4-1 Mesure de gonflement libre :	22
II-4-2 Mesure de la pression de gonflement	22
a-Méthode du gonflement libre	22
b-Méthode du volume constant :.....	23
c-Méthode sous charge constante	23

Sommaire

d- Méthodes d'essai oedométrique	24
Conclusion.....	25

Chapitre III : pathologie des constructions bâties sur sols gonflants

III. 1 – introduction	27
III. 2- Causes du gonflement.....	27
III. 3 - Conséquences du gonflement.....	28
III. 3. 1 - Cas des constructions et des bâtiments.....	28
III. 3. 2 - Cas des voiries et réseaux divers	30
III. 3. 3 - Cas des chaussées	30
III. 4 - Nature et manifestation du gonflement	31
III. 4. 1 - Facteurs influençant l'apparition du gonflement	31
III. 4. 2 - Eléments intervenant au gonflement	31
III. 4. 2. 1 – Hydrogéologie	32
III. 4. 2. 2 – Topographie	32
III. 4. 2. 3 - Actions anthropiques	32
III.4.3. Manifestation des désordres	33

Conclusion 38

Chapitre IV : Classification des sols vis-à-vis du phénomène de gonflement (cas de la cité 100 logements (Tébessa, NE Algérien)

IV.1-Introduction.....	39
IV.2- Situation géographique de la wilaya.....	40
IV.3-Situation administrative.....	40
IV.4-Aperçu sur le Transport	40
IV.5-Aperçu succinct sur la géologie de la région	40
IV.6.Lithostratigraphie de la région de Tébessa	42
IV.6.1-Les formations marines Mésozoïques (Secondaires).....	43
IV.6.1.1- Trias	43
IV.6.1.2- Crétacé	43
IV.6.1.2- Crétacé.....	43
IV.6.1.2.1-Crétacé inférieur.....	43
IV.6.1.2.1.1-Aptien	43
IV.6.1.2.1.2-Albien	43
IV.6.1.2.2-Crétacé supérieur	44
IV.6.1.2.2.1-Cénomaniens	44
IV.6.1.2.2.2-Turonien.....	44
IV.6.1.2.2.3-Coniacien	44
IV.6.1.2.2.4-Santonien	45
IV.6.1.2.2.5-Emscherien	45
IV.6.1.2.2.6- Campanien	45
IV.6.1.2.2.7- Maestrichtien	45
IV.6.2- Les formations continentales. Néogènes.....	45

Sommaire

IV.7- Description tectonique et structurale de la région de Tébessa (Latreche M., 2014).....	47
IV.8- Géologie locale	48
IV.8.1-Coupes géologiques du site d'étude	48
IV.8.2- Interprétation de la coupe géologique.....	50
IV.9-Conditions climatique de la région	50
IV.9.1-Données hydro-climatiques	50
IV.10 -Hydrogéologie de la région	52
IV.11- Investigation géotechnique du site	53
IV.12. Présentation des résultats et interprétation	57
IV.12.1.Méthode de Seed et Al. (1962)	57
IV.12.2.Méthode de Chen (1988)	58
IV.12.3-Méthode de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; Komornik et David (1969).....	59
IV.12.4-Méthode de Van der Merve (1964),Williams et Donaldson(1980).....	59
IV.12.5-Méthode de Dakshanamurthy et Raman(1973).....	60
IV.12.6-Classification à partir de la valeur de bleu de méthylène VB.....	61
IV.12.7-Classification à partir des valeurs de la densité sèche.....	62
Conclusion	64
Conclusion générale	65
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

Certains sols argileux subissent des variations de volume importantes quand leur teneur en eau varie, quand on humidifie un tel sol à partir d'un état initial sec et dense, son volume augmente et l'on parle de gonflement. Cependant, quand on assèche le même sol à partir d'un état initial plus lâche et saturé, son volume diminue et l'on parle de retrait. Ces deux mécanismes de gonflement et de retrait sont liés à la nature minéralogique des argiles. Les particules constituantes de ce type de sol peuvent provoquer du retrait ou du gonflement selon l'état initial de densité et d'humidité de celui-ci (Jouini M , SIAD N , 2016).

Dans les régions sèches et chaudes appartenant au domaine de climat aride et semi-aride, telle que la région de Tébessa (Nord- Est, Algérie), la plupart des sols gonflants sont des argiles ou marnes dont l'état « normal » est sec et dense. Les problèmes rencontrés dans le domaine de la construction, sont principalement dus au mécanisme du phénomène de retrait-gonflement, des sols de fondation, entre les deux périodes sèche et humide de l'année.

Le gonflement des sols est un phénomène connu depuis des décennies et il existe de nombreuses données sur ces sols, ainsi que leur localisation et les problèmes qu'ils posent. Ils ont été ainsi cartographiés dans plusieurs pays les figures ci-dessous, présentent les cartes établies pour les États-Unis d'Amérique et le Maroc (J. P. MAGNAN, 2013).

Nous avons choisi pour cette raison d'accentuer notre travail sur le gonflement des sols argileux et ses effets sur les fondations. Notre travail a été guidé par des observations ainsi que des essais faites sur les sols des fondations, d'une part, et sur les constructions, pour l'essentiel des bâtiments, d'autre part.

Pour atteindre une partie de l'objectif de notre travail, une étude de cas a été pris en considération, il s'agit bien de la cité des 100 logements (tranche 100/1000 logements LPL) au niveau de DOUKANE (Tébessa, Nord- Est Algérien).A cet effet notre travail est structuré en quatre chapitres dont les résumés sont présentés ainsi :

Chapitre 1 :Généralités sur les argiles et le phénomène du gonflement : Une large documentation a été rassemblée sur la base de laquelle, nous avons résumé l'essentiel sur les sols gonflants du point de vu structure, mécanisme de gonflement, différents type de gonflement et les facteurs régissant ce phénomène.

Chapitre 2 : Caractérisation du phénomène de gonflement : Ce chapitre est consacré la présentation des différentes méthodes utilisées pour caractériser le phénomène de gonflement. Ces méthodes sont soit indirectes et donc basées sur des formules empiriques, soit direct et donc basées sur des essais réalisés directement au laboratoire.

Chapitre 3 : pathologie des constructions bâties sur des sols gonflants : Dans ce chapitre, nous nous sommes basés sur les études antérieures pour montrer l'effet des sols gonflants sur les superstructures, ceci est expliqué aussi par quelques exemples réels sur les problèmes rencontrés au niveau des constructions.

Introduction générale

Chapitre 4 : Classification des sols vis-à-vis du phénomène de gonflement (cas de la cité 100 logements (Tébessa, NE Algérie) : Dans ce chapitre, un aperçu générale sur la région est donné (géologie, climatologie ...etc.), une classification des sols de la cité 100 logements situé à la nouvelle extension Doukane de la ville de Tébessa. La classification est élaborée dans les limites des données disponibles au niveau du LTPE (Laboratoire des Travaux Public de l'Est, antenne de Tébessa). Pour achever cette classification, des méthodes et des abaques acquis des études ultérieures, ont été utilisés.

Les quatre chapitres sont cernés par une introduction générale au début, et une conclusion générale qui résume l'essentiel de notre travail. Certainement des recommandations sont nécessaires à proposer.

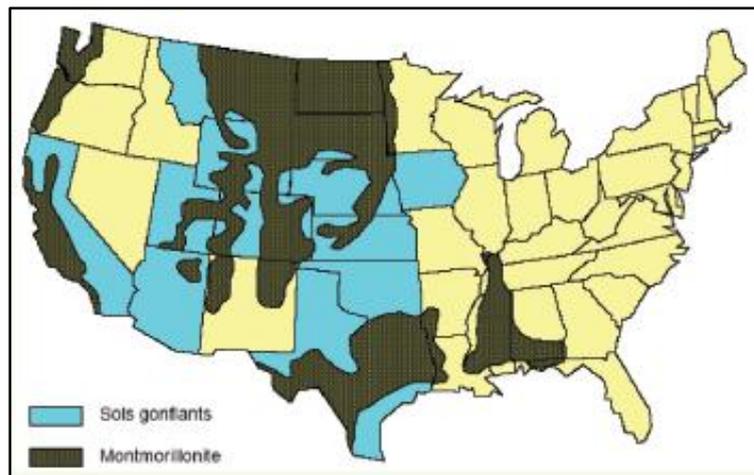


Figure -1- Répartition des sols gonflants aux USA (au sens du génie civil) (J. P. MAGNAN, 2013).

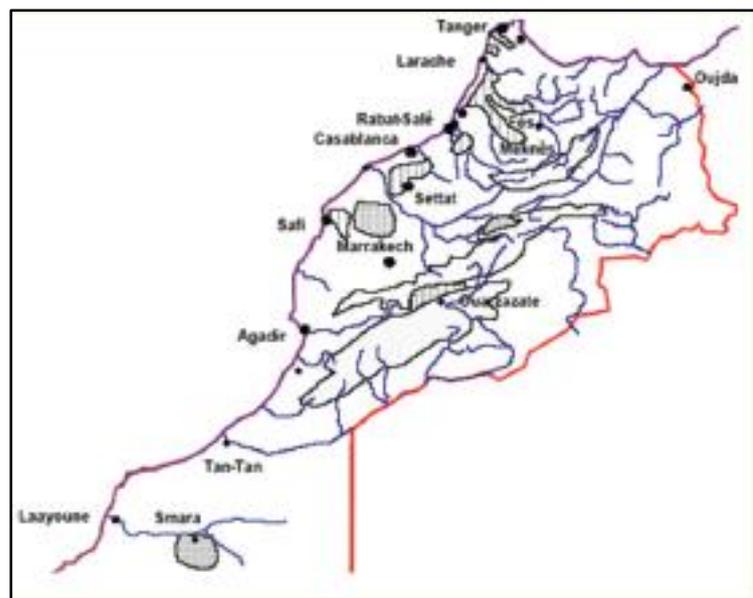


Figure -2- Principaux gisements d'argiles gonflantes au Maroc (Ejjaouani, 2008 in J.P. MAGNAN, 2013).

Chapitre I:

Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

I-1 INTRODUCTION

Les sols gonflants posent des problèmes aux constructions sur tous les continents. Pour ces sols, les variations de volume sont liées à la présence de particules argileuses. Les sols argileux sont constitués de minéraux variés dont l'affinité à l'eau dépend de plusieurs paramètres, entre autre la structure minéralogique. Quand ils sont humidifiés à partir d'un état sec, ils subissent des gonflements dus d'une part, à l'absorption des molécules d'eau sur la surface extérieure des particules et d'autre part, à la pénétration des molécules d'eau entre les feuillets dont, l'empilement constitue les particules d'argile. Ce gonflement des argiles dépend des conditions de l'état de compacité du sol et des conditions hydriques. (Hossein Nowamooz, 2007). Inversement au gonflement, si la quantité d'eau diminue dans le sol, il subit une diminution de volume relativement importante. Ceci provoque en particulier le développement d'un réseau de fissures dû au retrait/gonflement en surface (Said Khaddaj 1992).

Les mécanismes élémentaires de gonflement des sols prennent corps à l'échelle microscopique, les examens géotechnique de ce problème, se font couramment à l'échelle macroscopique.

La mise au point et l'évaluation des procédures d'essais de gonflement des sols et des roches en laboratoire faisaient l'objectif de nombreux travaux. Mais le processus de gonflement met en jeu simultanément différents facteurs et divers phénomènes physiques, ce qui complique singulièrement les démarches entreprises tant sur le plan expérimental que théorique (Ejjaaouani 2008). De ce fait, il semble difficile de chercher, une procédure unifiée, qui réponde parfaitement aux questions posées par le gonflement des sols et des roches en regard des différents états des matériaux, des divers types d'ouvrages qu'il est susceptible d'affecter et des différentes conditions de site possibles (Ejjaaouani 2008).

Après un exposé succinct des différents types des minéraux argileux, ce chapitre décrit phénomènes physiques et mécanique du gonflement au niveau des sols ainsi que les facteurs régissant le processus de gonflement des sols.

1.2. LES ARGILES

Définition : On définit les argiles comme des sols de diamètre moyen inférieur à $2\mu\text{m}$. Il s'agit donc d'un sous-groupe des sols fin. (Figure -I-1-). Les argiles proviennent de l'altération chimique des roches et plus exactement des minéraux silicatés (Feldspaths, mica ...etc.).

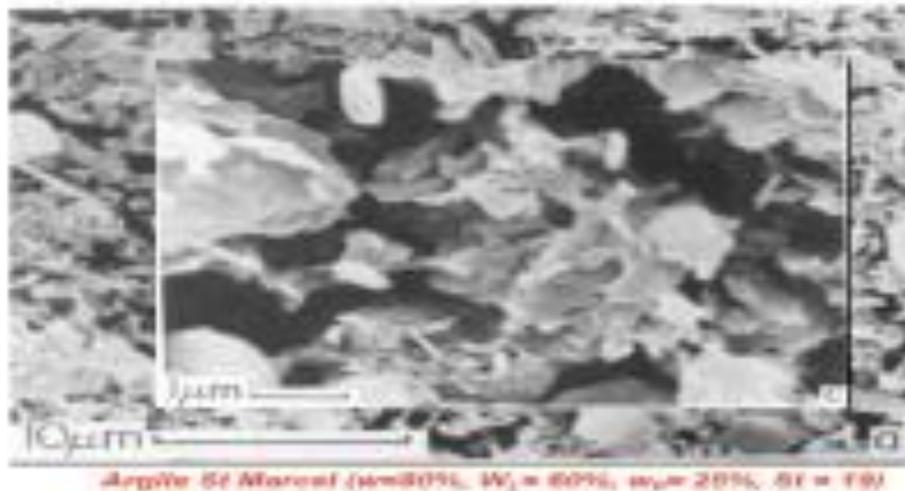


Figure -I-1- Argile naturelle (MEB)

On distingue les argiles suivant leur origine (Benaissa Mohamed , 2011).

- **Les argiles d'altération** : formées principalement par l'altération des calcaires en climat tempérés ou l'altération des latérites en climat chaud et humide.
- **Les argiles fluviatiles** : Elles se déposent surtout dans le lit majeur des fleuves, lors des décrues.
- **Les argiles lacustres** : déposées dans les lacs et étangs.
- **Les argiles marines** : Ce sont des argiles d'origine continentale déposées en milieu marin, et généralement modifiées par la diagénèse.

I-2-1 - Caractéristiques des argiles gonflantes :

Les argiles sont des sols très sensibles à l'eau. Elles sont à l'origine de nombreux désordres dans les constructions. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

- **Argiles plastiques** : indurées et très déformables.
- **Argiles raides** : indurées et présentent un comportement plus fragile que de la limite d'élasticité. Ceci à cause de la présence des carbonates et du quartz microscopique.

Les argiles sont formées par l'assemblage de particules de taille inférieure à $2\mu\text{m}$ chargées négativement comme la Smectite , l'Illite et la Kaolinite. La présence de tels minéraux rend l'argile fortement sensible aux molécules polaires d'eau (Djaani et Benmansour 2011).

I-2-2- Structure moléculaire microscopique des argiles

Le feuillet élémentaire se compose d'un empilement de 2 ou 3 unités de base. Les liens covalents les liaisons ioniques assurent l'assemblage des feuillets élémentaires.

Les forces de liaison entre feuillets sont principalement :

- ✓ forces d'attraction moléculaires qui sont des liaisons faibles.
- ✓ liaisons hydrogènes qui apparaissent avec des atomes fortement électronégatifs, comme l'oxygène.
- ✓ substitutions isomorphes qui consistent en le remplacement de certains cations constitutifs du réseau cristallin par d'autres de moindre valence.

Ce dernier phénomène crée des déficits de charge qui affaiblissent les forces ioniques de liaison entre les feuillets (remplacement d'un ion Si^{4+} par un ion Al^{3+} dans la couche octaédrique d'aluminium). Les particules sont donc soumises à un ensemble de forces d'attraction et de répulsion qui varient avec la teneur en eau et dépendent des substitutions isomorphes. Malgré la simplicité apparente de la structure des argiles, on en compte un grand nombre d'espèces, qui se distinguent par les défauts liés aux substitutions isomorphes au moment de la formation. Trois types d'argile sont couramment rencontrés : la Kaolinite, la Montmorillonite et l'illite (Mazouz2010).

I-2-2-1 - Kaolinite : $(\text{Si}_4\text{O}_{10}) \text{Al}_4(\text{OH})_8$:

C'est un empilement de feuillet double tétraédrique et octaédrique. Les liaisons sont dues à H^+ et à des valences secondaires elles sont fermes. La kaolinite résulte d'une altération en climat chaud et humide ces caractéristiques sont relativement peu influencées par l'eau.

(Figure- I-2).

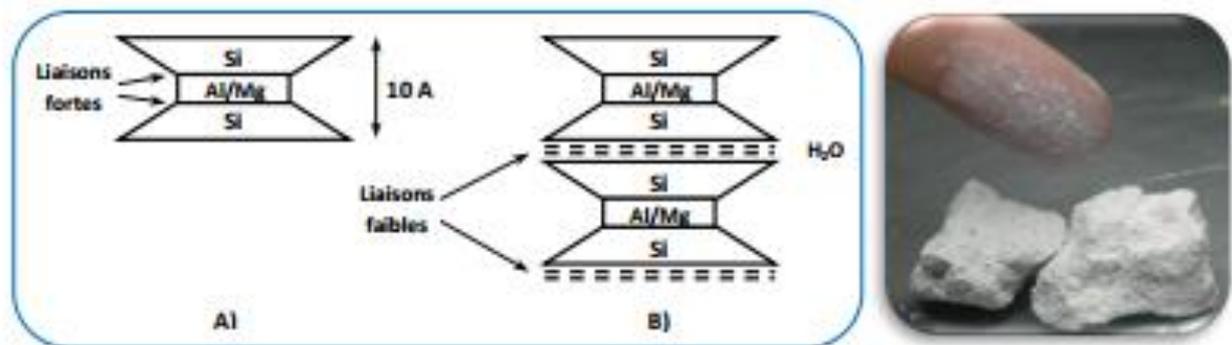


Figure- I-2- Structure élémentaire de la Kaolinite (Mazouz 2010).

I-2-2-2 - Montmorillonite : $(\text{OH})_4 \text{Si}_8 (\text{Al}_{3+10/3}, \text{Mg}_{2/3}) \text{O}_{20}, n \text{H}_2\text{O}$ (6)

C'est un empilement de feuillets triples composés d'un feuillet octaédrique compris entre deux feuillets tétraédriques. La liaison entre les trois couches se fait par des valences secondaires et des liaisons ioniques elle est très faible et l'eau peut entrer entre les feuillets triples et causer ainsi un gonflement. (figure I-3)



Figure –I-3- Structure élémentaire de la Montmorillonite (Mazouz 2010).

I-2-2-3 - Illite: $(K,H_2O)_2 Si_8 (Al,Fe,Mg)_{4,6} O_{20} (OH)_4$

Formée des mêmes feuillets triples que la montmorillonite mais solidarisés avec des (ions K^+) fermement, L'illite n'est pas gonflante. Elle provient de l'altération des sols des régions arides et aussi tempérées, Sa susceptibilité à l'eau est entre celle de kaolinite et de la montmorillonite (Figure –I-4).

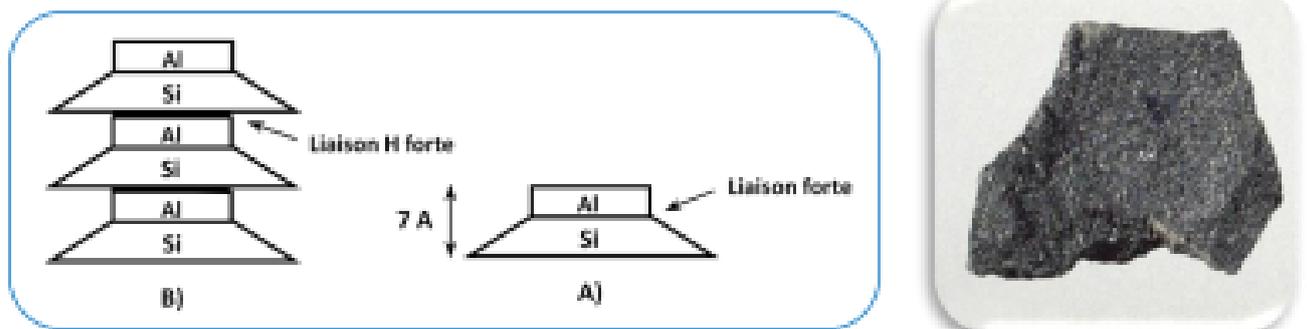


Figure –I-4- Structure élémentaire de L'Illite (Mazouz, 2010).

I-3- GONFLEMENT DU SOL

Le phénomène de gonflement dépend des caractéristiques minéralogiques du matériau argileux et de la nature de la solution d'hydratation (Benaissa Mohamed , 2011).

I.3.1- les sols gonflants :

Les feuillets argileux ont tendance à s'agglomérer pour former des particules de taille variable (figure I-5). Ce degré d'organisation correspond à l'ultra structure ou infrastructure d'un sol. À ce niveau, les vides correspondent aux espaces inter foliaires que l'on qualifiera de vides intra particulaires.

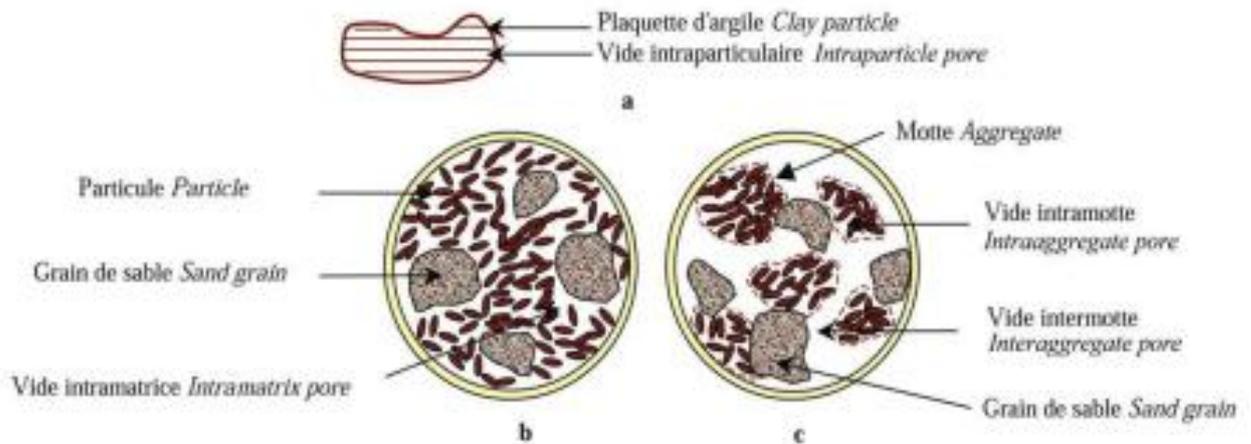


Figure –I-5- : Structure des sols gonflants d'après Gens et Alonso (1992).

Il existe en fait deux grands types de structure pour les sols compactés, structures qui ont été reconnues dans un grand nombre de matériaux différents à partir d'études réalisées au microscope électronique à balayage (Collins & McGown, 1974 ; Yong & Warkenti, 1975; Gilliot, 1979). La figure I-5.b représente le premier cas où l'ensemble du matériau est constitué d'une matrice homogène formée à partir des argiles et des autres constituants du sol. Il est alors possible de distinguer deux types de pores : les vides intra particulaires et les vides intramatriciels. Cette structure est typique des sols compactés du côté humide de l'optimum. La (figure I-5) correspond à la deuxième possibilité qui est représentative de la majorité des sols naturels ou compactés du côté sec de l'optimum. Les particules argileuses s'associent aux autres constituants du sol pour former des agrégats. Trois niveaux structuraux peuvent alors être distingués : l'infrastructure, la microstructure qui correspond aux agrégats, et la macrostructure qui correspond à l'arrangement des agrégats entre eux. Les agrégats contiennent des pores qualifiés de micropores et la macrostructure des macropores situés entre les agrégats. Gens & Alonso (1992) ont repris ce schéma d'organisation, qu'ils qualifient de double structure, comme fondement de leur modèle de comportement des sols gonflants où sont réunies l'infrastructure et la microstructure. Al-Mukhtar et al. (1996), citant différents auteurs, indiquent que la taille moyenne des pores de l'ultra structure est comprise entre 10 et 15 Å, celle des micropores entre 25 et 2 000 Å, et celle des macropores supérieure à 2 000 Å.

I-3-2- Mécanisme du gonflement :

Le gonflement représente l'extension des doubles couches entourant les particules argileuses. Les principaux facteurs régissant le gonflement des argiles peuvent être classés en deux catégories, les facteurs mécaniques et les facteurs physico-chimiques (Seed et al., 1961; Mitchell, 1973).

I-3-2-1-Composantes mécaniques du gonflement :

Dans la masse du sol gonflant, sous l'action d'un chargement, certaines particules se trouvent déformées selon deux chemins de déformations :

- La compression volumétrique des particules solides, souvent négligeables.
- La courbure des particules a un effet sur le changement de volume souvent appréciable.

Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

L'approche mécanique du gonflement est analogue à l'extension mécanique et est reliée à l'énergie emmagasinée dans la structure solide (Terzaghi, 1941), dans cette approche l'imbibition par l'eau est attribuée à un gradient hydrostatique induisant un écoulement de l'eau à travers l'échantillon, ce qui provoque une diminution de la succion matricielle et par conséquent un déchargement de la masse du sol.

I-3-2-2-Composantes physico-chimiques du gonflement :

L'approche physico-chimique est basée sur la théorie de la double couche de Gouy–Chapman (1910), cette approche tient compte des forces inter partielles qui sont fonction : des forces électriques, de la texture de la surface des particules et de la composition du fluide interstitiel.

Les effets physico-chimiques sont fonctions des propriétés d'hydratation et de l'absorption des cations. En effet, les particules d'argiles ont une texture de surface qui permet une forte liaison à l'eau, cette affinité à l'eau est responsable du gonflement du sol.

De plus, la surface des particules argileuses possède une charge négative non compensée afin d'assurer une neutralité électrique des charges, les cations sont attirés vers la surface de ces particules, ce qui va conduire à une concentration en cation dans la couche adsorbée (au voisinage des particules) qui est supérieure à celle de l'eau libre du sol (Benmessaoud Ahmed , 2017) . Cette différence dans la concentration ionique conduit à l'apparition d'une succion osmotique, engendrant un écoulement de l'eau de la zone de faible concentration vers la zone à forte concentration. Les cations et les molécules d'eau prennent place entre les particules d'argiles et provoquent l'expansion de la masse du sol.

I.3.3 -Les types de gonflement :

Mouroux et al. (1988) ; Popescu (1986) ont distingués deux types de gonflement, un gonflement (interfoliaire) et un gonflement interparticulaire (Figures I-6 et I-7).

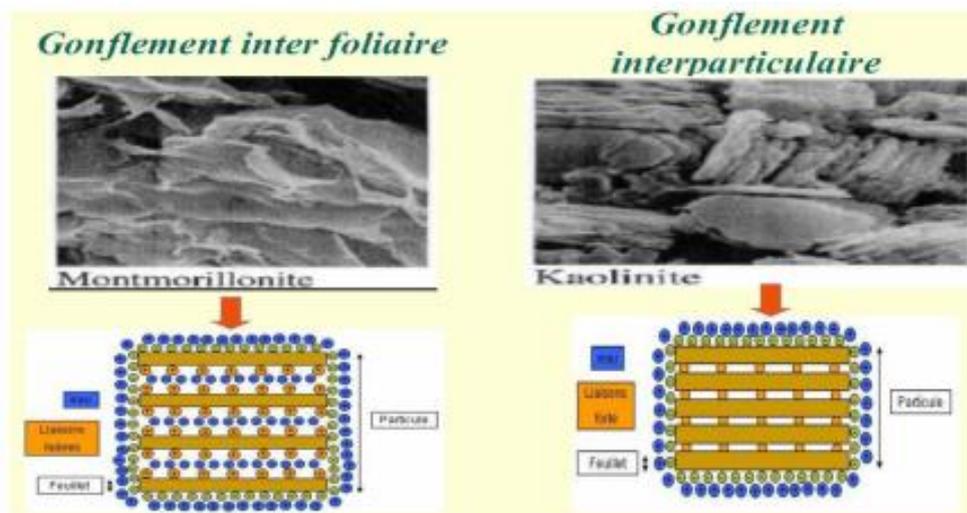


Figure –I-6-: types de gonflements

I-3-3-1- Le gonflement interfoliaire : Il s'agit de l'adsorption de molécules d'eau sur la surface externe de la particule d'argile. Lors d'une hydratation inter partuculaire, les changements de volume qui s'ensuivent sont généralement faibles.

I-3-3-2- Le gonflement interparticulaire: pour les argiles dont la structure fait intervenir des cations compensateurs, il se produit au contact de l'eau une hydratation de ces cations. Le cation hydraté acquiert une taille plus importante parce qu'il s'entoure de molécule d'eau. Il en résulte une augmentation de la distance inter foliaire et par voie de conséquence un affaiblissement de la liaison entre les feuillets. Ce qui permet à d'autres molécules d'eau de s'immiscer entre les feuillets d'une même particule, c'est l'adsorption inter foliaire.

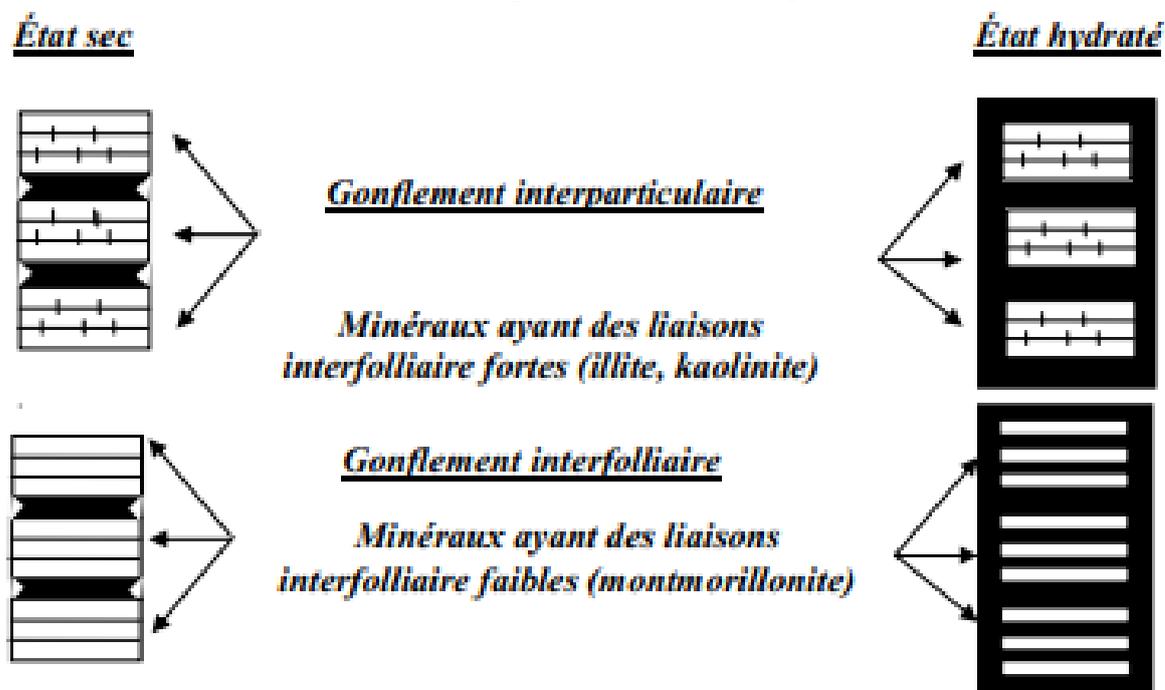


Figure –I-7- : Mécanismes des gonflement des argiles par hydratation (Bouزيد, 1997 ; Bengraa, 2004 ; Gueddoudda, 2005).

I-3-4- Les paramètres influant sur le gonflement :

Le gonflement des argiles est le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs liés à la nature de l'argile ainsi à son état initial, l'importance du potentiel de gonflement dépend de l'impact de ces facteurs dans le sol argileux (Said Khaddaj ,1992) . Parmi ces facteurs nous avons :

I-3-4-1- L'état initial du sol

Durant ces dernières années, plusieurs auteurs ont traité l'influence de la teneur en eau et de la densité sèche sur les caractéristiques de gonflement (la pression de gonflement « Pg » et « Ag » des argiles gonflantes en particulier celles de la bentonite compactée (Sánchez& al, 2005).L'effet des deux paramètres a été étudié séparément.

I-3-4-2- La teneur en eau initiale

Les caractéristiques du sol et des conditions de l'essai influent sur le gonflement ainsi que l'état hydrique dans le sol argileux qui est représenté par la teneur en eau initiale. A volume constant, la pression de gonflement est indépendante de la teneur en eau initiale (Guiras -Skandaji, 1996). Pour les essais de gonflement libre ou sous différentes charges, le potentiel et la pression de gonflement varient avec la teneur en eau initiale, Guiras-Skandaji (1996) a trouvé que la teneur en eau initiale des échantillons compactés à la même densité

Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

sèche a une influence considérable sur les caractéristiques du gonflement. La pression de gonflement augmente lorsque la teneur en eau initiale diminue. L'évolution du taux de gonflement final en fonction de la teneur en eau initiale est linéaire (Figures I-8 et I-9).

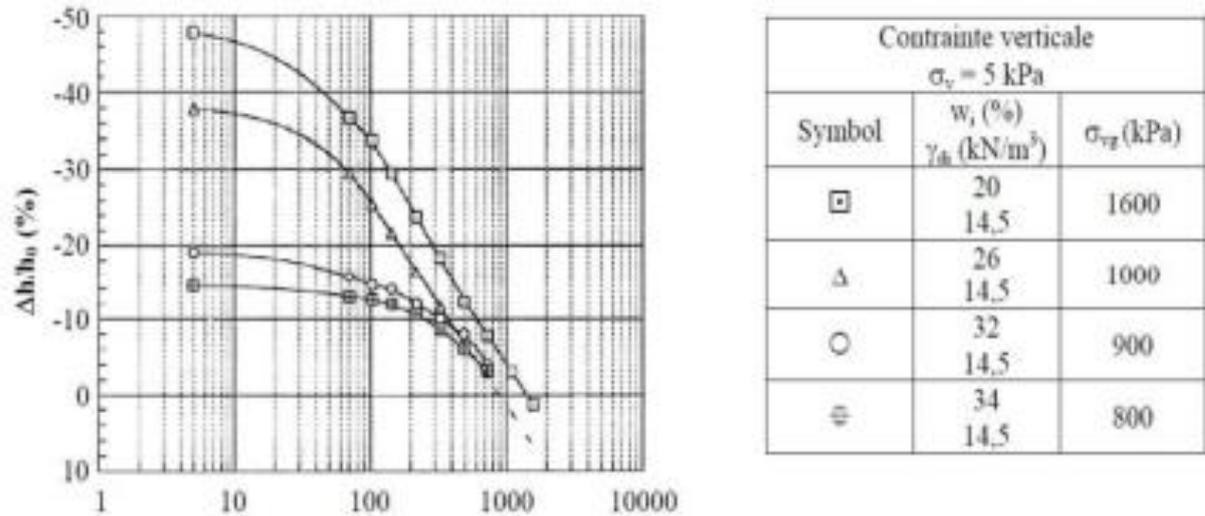


Figure –I-8- Influence de la teneur en eau sur la pression de gonflement mesuré par la méthode des gonflement libre ($\gamma_{dmoy}=14,5 \text{ k N/m}^3$) (Guiras-Skandaji, 1996 ;Medjnoun, A., 2014).

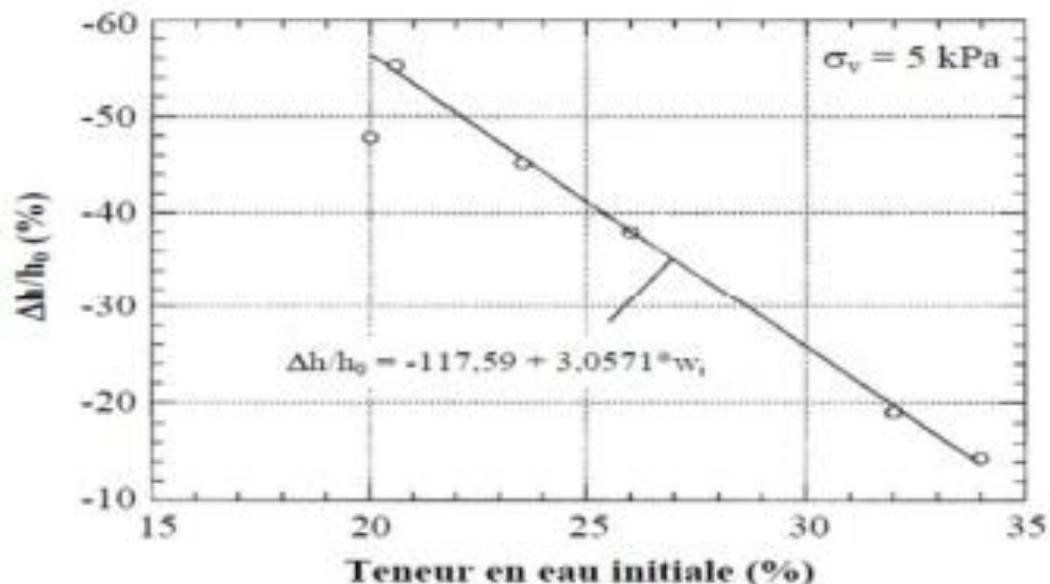


Figure –I-9- Évolution du taux de gonflement final en fonction de la teneur en eau initiale Pour la bentonite compactée à un poids volumique sec de $14,5 \text{ k N/m}^3$. (Guiras-Skandaji, 1996). Hachichi & fleureau (1999), ont réalisé des essais de gonflement libre sur des argiles intactes provenant de cinq sites différents dans plusieurs régions de l'Algérie à partir de différentes teneurs en eau initiales. Leurs résultats montrent une tendance classique à la diminution du gonflement lorsque la teneur en eau initiale augmente. Villar & Lloret (2008), ont étudié l'influence de la teneur en eau sur la pression et le taux des gonflement de la bentonite FEBEX compactée à différente densité et à différents chargements initiaux. Pour la mesure de

Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

pression de gonflement la méthode à volume constant est utilisée. Les résultats sont exposés dans les (Figures I-10, I-11 et I-12.) Ces figures montrent que la relation entre la pression et le taux de gonflement est relativement linéaire. Ce rapport est plus clair sous des chargements importants (Villar et Lloret, 2008).

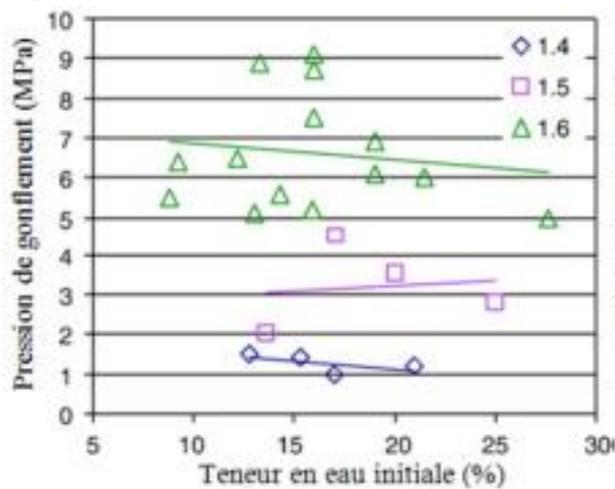


Figure –I-10- Influence de la teneur en eau initiale sur la pression de gonflement de la bentonite (la densité sèche des échantillons est indiquée en Mg/ml (Villar et Lloret, 2008)

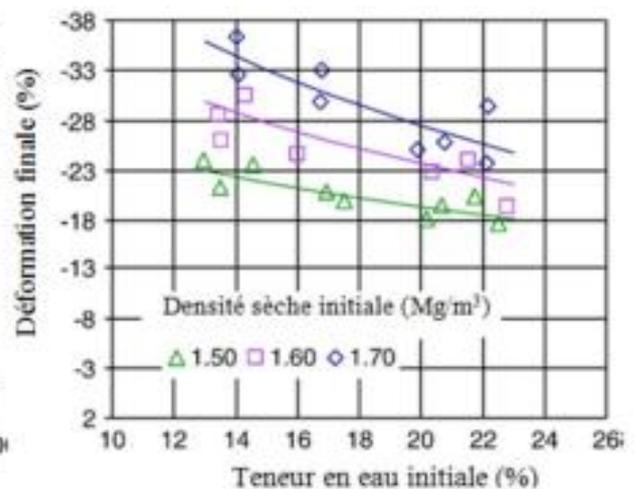


Figure –I-11- Déformations finales des essais saturés sous une pression verticale de 0,1 MPa sur des échantillons compactés à différentes densités sèches initiales et teneurs en eau. (Villaret Lloret, 2008)

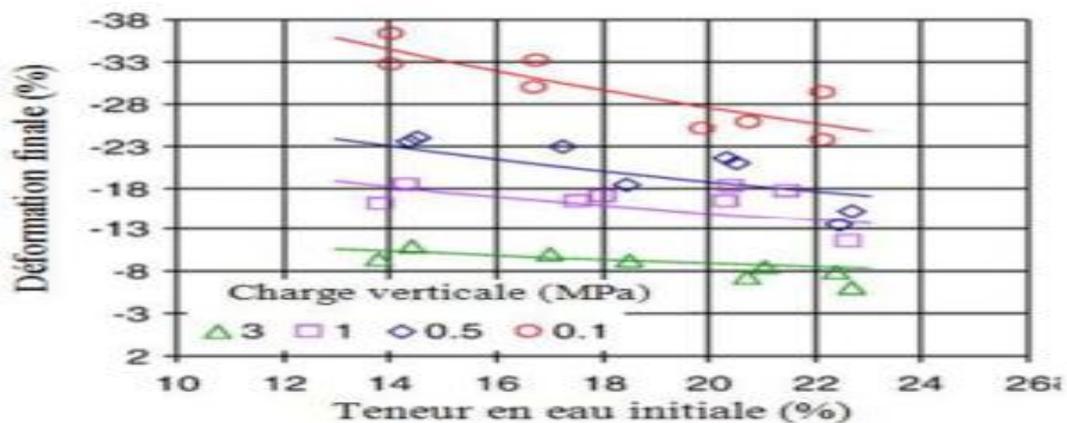


Figure –I-12-Déformation finale obtenue des essais de gonflement libre effectués avec des Échantillons d'une densité sèche initiale de 1,70 Mg/ m³: résultats expérimentaux et Prédications avec l'équation (1) (Villar et Lloret, 2008).

$$\sigma = [(-12,12 \ln \rho_{d0} + 1,89) \ln \sigma + (86,81 \rho_{d0} - 53,59)] \ln w_0 + (38,27 \ln \rho_{d0} - 1,25) \ln \sigma + (-149,05 \rho_{d0} + 211,42) \dots \dots \dots (1) \text{(Villar et Lloret, 2008).}$$

I-3-4-3- La densité sèche

Tous les auteurs indiquent que les paramètres de gonflement sont proportionnels à la La densité sèche du sol. La pression et l'amplitude augmentent pour des densités sèches importantes, en fixant les autres conditions d'essai. Shridharan et al. (1987) ont mené 32essais

Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

de gonflement à volume constant avec quatre teneurs en eau initiales et différentes densités sèches initiales. Les résultats sont regroupés sur la (Figure I-13). On peut voir sur cette figure que la pression de gonflement croît progressivement avec l'augmentation de la densité sèche initiale (BENAÏSSA Mohamed , 2011) .

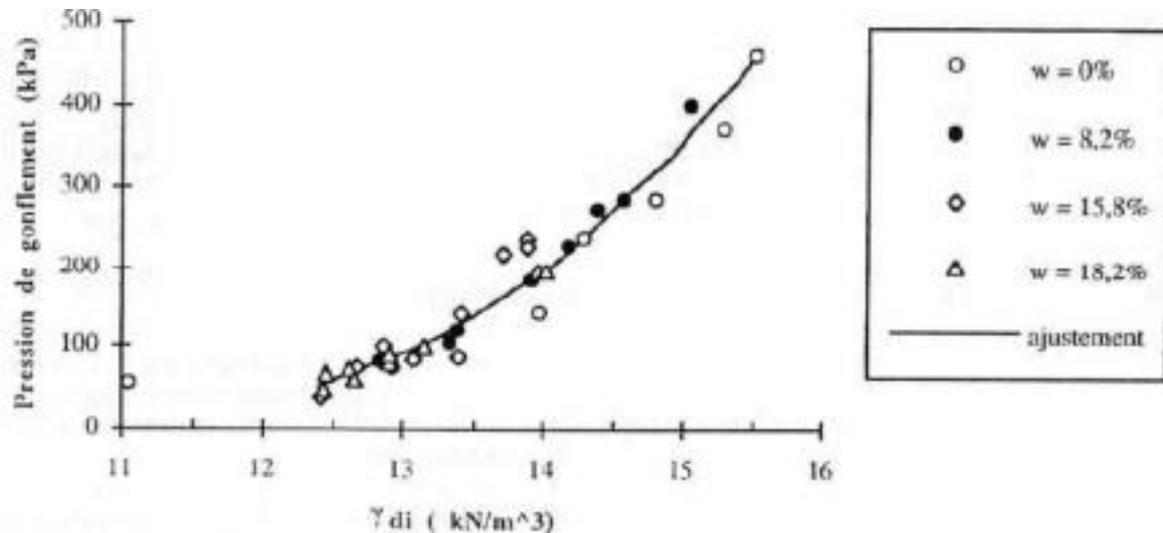


Figure –I-13-Variation de la pression de gonflement avec la densité sèche initiale. (Guiras, 1996)

D'autres recherches sur l'influence de la densité sèche ont été menées en utilisant d'autres procédures de mesure. Les résultats obtenus confirment cette proportionnalité entre les paramètres du gonflement et la densité sèche initiale par Villar et Lloret (2008). Van der Waals, J. H. et Platteeuw, J. C. (2007), ont étudié aussi l'influence de la teneur en eau sur la pression et le taux de gonflement de la bentonite FEBEX compactée à différentes densités et à différents chargements initiaux. La pression de gonflement est déterminée sur des échantillons compactés en utilisant des appareils oedométriques uni axiales. La teneur en eau initiale des échantillons est d'ordre de $(13,2 \pm 1,2\%)$ Les valeurs obtenues sont présentées dans la (Figure I-14). D'après ces résultats on remarque que les caractéristiques de gonflement augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la densité sèche.

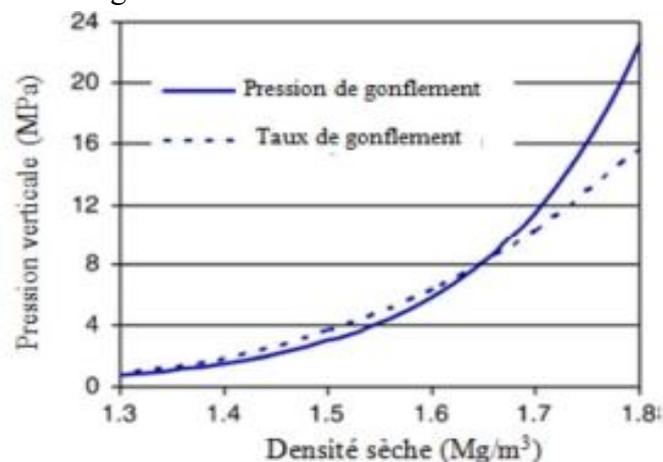


Figure –I-14 - Pression de gonflement d'un essai de gonflement empêché et taux de gonflement d'un essai de gonflement libre (Villar et Lloret, 2008).

I-3-4-4- La minéralogie

Ce facteur est très important pour déterminer le gonflement d'un sol. La quantité et le type d'argile gonflante du sol seront d'autant plus marqués que le pourcentage de minéraux expansifs (montmorillonite) sera élevé (Xu et al., 2003). Ainsi à partir d'un mélange de limon de la ville X aulleilley (Lx) et de bentonite calcique (B), Tabani (1999) montre que le potentiel de gonflement passe de 6,3 % à 44,4 % lorsque le potentiel massique de bentonite augmente de 10 à 100%. Dans le même temps, la pression de gonflement croît de 250 à 740 kPa (Figure I-15)

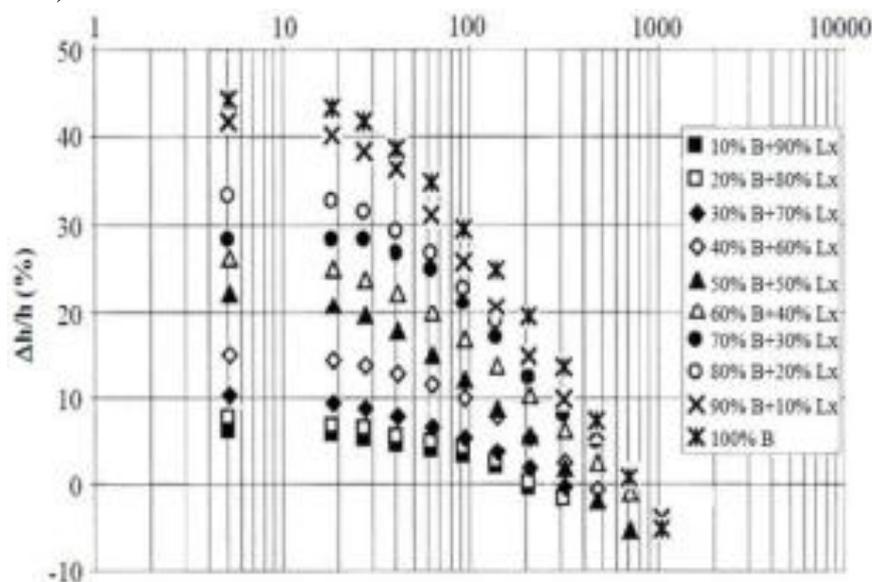


Figure –I-15- Le potentiel et la pression de gonflement en fonction du pourcentage de bentonite (Tabani, 1999).

I-3-4-5- Les cycles d'humidification séchage :

De nombreux travaux ont été menés pour simuler des déformations engendrées par des variations saisonnières de teneur en eau, ou sous l'effet de sollicitation hydriques cycliques. Ainsi de nombreux auteurs (Chen & Ma, 1987; Tripathy & al, 2002) ont étudié ces phénomènes sur des matériaux remaniés et compactés. Bien que ces travaux ne soient pas réalisés dans des conditions identiques, pour la majorité d'entre eux, on observe cependant une stabilisation du phénomène de gonflement-retrait après quatre ou cinq cycles.

Les résultats de Tripathy et al. (2002), en particulier, montre que l'effet des conditions initiales est quasiment nul après quatre ou cinq cycles d'imbibition et de dessiccation et le phénomène de retrait gonflement dépend essentiellement du type d'argile (Yong & Warkenting, 1975 et Day, 1995).

D'après Geremew (2009) les résultats obtenus sur des éprouvettes soumises alternativement à des phases d'imbibition totale et des phases de séchage complet, montrent que la fissuration de l'échantillon au premier séchage, en augmentant la perméabilité du sol, influence la cinétique de gonflement lors du cycle suivant. Pour chaque sollicitation cyclique, une stabilisation des déformations s'amorce à partir du troisième cycle. Cependant, l'ensemble des échantillons présente une augmentation du gonflement cumulé avec les cycles.

Chapitre I : Généralité sur les argiles et le phénomène du gonflement

La déformation due au retrait- gonflement n'est donc pas complètement réversible.

I-3-4-6- La température

Les minéraux argileux les plus sensibles à la température sont les argiles gonflantes (smectites) qui se transforment dès 40° C en inter stratifiés illite-smectite. En effet, la couche de base de cette argile est identique à celle des illites (3 feuillets Si-Al-Si), mais le lien entre les couches successives est assuré par l'eau en quantité variable. Les faibles liens retenant cette eau entre les couches favorisent la déshydratation sous des températures modérées (Boucly Norotte, 1991).

On assiste fréquemment à une transformation progressive en illite, pour autant que la teneur en K soit suffisante pour créer un lien inter-couche typique de ce minéral. Cette transformation entraîne des changements de composition des eaux interstitielles et un effondrement de la texture. Ce dernier est contrarié par l'imperméabilité des argiles (Boucly Norotte, 1991).

Il existe encore d'autres facteurs internes qui ont une influence importante sur le gonflement des sols argileux. Ces facteurs sont liés à la nature et la qualité des réactions chimiques qui se produisent dans les espaces interparticulaires et intraparticulaires, parmi ces facteurs, on peut citer:

- Influence du type de cations compensateur.
- Influence de la capacité d'échange en cations (CEC).
- Influence de la surface spécifique.
- Influence du fluide hydratant.

Conclusion :

En résumé, le gonflement est le phénomène d'augmentation de volume de l'argile quand elle est en contact avec l'eau qui s'intercale dans la structure. Les minéraux argileux présentent un déséquilibre de charge électrique négatif bien remarquable, qui attire le pôle positif des molécules dipolaires d'eau et des cations.

En conséquence, les molécules d'eau forment une double-couche dans l'espace interfoliolaire et provoquent le changement de volume.

Certaines argiles principalement celles contenant de la montmorillonite gonflent par adsorption d'eau quand elles ne sont pas soumises à une compression suffisante et inversement se contractent lors d'un assèchement. Ce phénomène est très gênant pour les constructions légères ou les éléments de construction peu pesants reposant sur ce type de sols soumis à des variations de sa teneur en eau. Dans le cas de ces sols, déterminer les caractéristiques de gonflement et prévoir des dispositifs tendant à :

- éviter les variations de la teneur en eau,
- s'opposer à la pression de gonflement,
- isoler la zone où des variations de volume se produisent.

Pour cette raison, la caractérisation des paramètres de gonflement est très importante. Le chapitre suivant s'accroît d'une manière précise sur les méthodes de caractérisation des paramètres de gonflement. Ces méthodes sont soit indirectes et se basant sur des formules empiriques, soit directes, celles-ci se basent au contraire sur des essais effectués directement au laboratoire.

Chapitre II:

Méthodes de caractérisation des sols gonflants

II-1 Introduction :

La quantification du phénomène de retrait-gonflement par des paramètres macroscopiques est une étape très intéressante pour le dimensionnement des ouvrages. Le choix du type de fondation et la définition de la charge de l'ouvrage sont étroitement liés aux paramètres de gonflement des sols.

Pour ce fait, des approches de la caractérisation du gonflement sont réalisées, soit par des méthodes indirectes basées sur les paramètres géotechniques qui permettent d'identifier les sols sensibles à ce phénomène, ces méthodes sont basées essentiellement sur des formules empiriques, soit par des méthodes directes s'appuyant sur des essais hydriques et mécaniques, réalisés au laboratoire, ces essais caractérisent plus précisément le comportement gonflant d'un sol. Malgré que ces méthodes directes sont un peu lente, mais elles sont plus précises pour la caractérisation des paramètres de gonflement des sols.

II-2 Investigation expérimentale au laboratoire :

Selon l'objectif choisi lors de l'étude du gonflement, on peut déterminer les paramètres mécaniques nécessaires pour caractériser les terrains gonflants.

Toutefois, le phénomène de gonflement demeure compliqué et l'objectif peut être choisi de façon à empêcher le gonflement, ou de s'assurer qu'il pourra se faire de manière progressive ou périodique, ou de construire l'ouvrage après que le processus de gonflement soit terminé.(Benaissa Mohamed , 2011)

Dans la pratique quotidienne, on opte pour une approche macroscopique distinguant trois notions (Said Khaddaj ,1992)

- **Pression de gonflement** d'un élément de sol ou de roche ayant un état physique initial connu elle peut être définie comme l'état de contraintes à exercer pour maintenir le volume constant durant l'imbibition sans distorsion. Il existe plusieurs définitions de la pression de gonflement, mais celle-ci est la plus utilisée ;
- **Gonflement libre:** il traduit la déformation maximale que provoque l'imbibition d'un élément de sol ou roche ayant un état physique initial connu soumis à un état de contraintes nulles ou quasi nulle ;
- **L'indice de gonflement:** il traduit l'importance de la déformation de gonflement résultant par un déchargement vis à vis un état de contraintes donné. Au bout d'un certain temps infini, on obtient la déformation de gonflement, déduction réalisée des déformations instantanées dues aux variations de charges.

Ces notions ou paramètres, sont les plus utilisés pour caractériser un sol vis à du phénomène de gonflement.

II.3 Les méthodes indirectes (empiriques) :

Les méthodes empiriques sont développées sur la base des données limitées recueillies sur des sols locaux ou les sols de certaines régions. Ces méthodes utilisent des paramètres de classification des sols pour prévoir les paramètres des sols gonflants.

II.3.1. Méthode de Seed et Al. (1962)

Seed et al. (1962) , Ont proposé une méthode pour l'estimation du taux de gonflement sur des sols compactés en se référant à la teneur en argile du sol et à l'activité corrigée (Acor.) du matériau (Figure II-1) (Seed, H. B., &Lundgren, R. (1962).

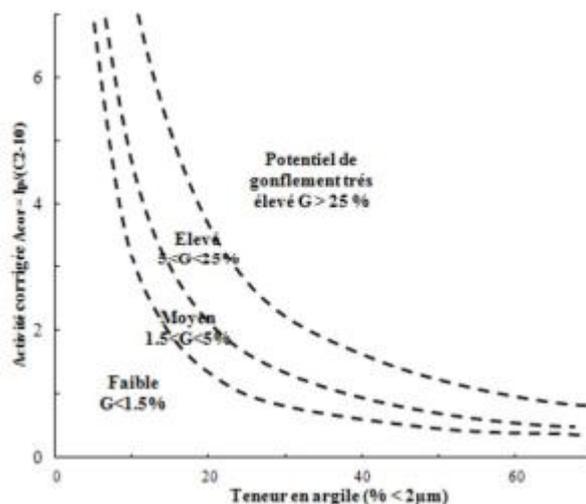


Figure- II-1- Classification proposée par Seed et al. (1962) (Medjnoun, A., 2014, Aoun M., 2016).

Pour des sols contenant entre 8% et 65% d'argile, Seed et Al. proposent la classification donnée dans le (Tableau 1) qui relie le taux de gonflement libre (ϵ_g) à l'indice de plasticité.

Tableau II-1- : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité.

I_p	ϵ_g (%)	Potentiel de gonflement
0 - 10	0 - 1,5	Faible
10 - 20	1,5 - 5	Moyen
20 - 35	5 - 25	Élevé
>35	>25	Très élevé

II.3.2. Méthode de Chen (1988) :

Chen en 1988, a proposé deux classifications pour l'estimation du potentiel de gonflement, la première classification est fondée sur la limite de liquidité et le pourcentage des particules dont le diamètre est inférieur à $74 \mu\text{m}$ (Tableau II-02), la deuxième se base uniquement sur l'indice de plasticité :

Tableau II-02 : Potentiel de gonflement d'après Chen (1988) (Ejjaouani, H., 2008).

% < 74 μm	WL (%)	Potentiel de gonflement
>95	>60	Très élevé
60-95	40-60	Elevé
30-60	30-40	moyen
<30	<30	faible

II.3.3 Méthode de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) :

Tout comme Komornik & David (1969), Vijayvergiya et Ghazzaly en 1973, ont constaté que la ligne A définie par Casa grande en 1948 dans le diagramme de plasticité est d'équation $IP = 0,73(WL - 20)$, sépare les sols gonflants (qui se situent au-dessus de la ligne A) des sols non gonflants (qui se situent en dessous de la ligne A), Cependant une argile se situant au-dessus de la ligne "A" n'est pas nécessairement gonflante (Figure II-2), puisque des sols mous peuvent parfois y être classés.

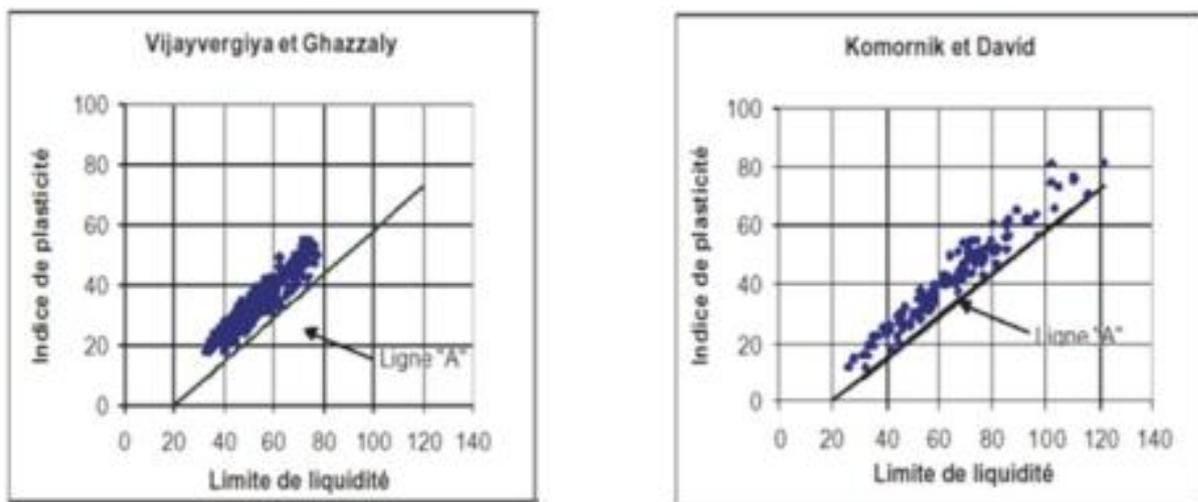


Figure –II-2- : Classification des sols gonflants de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; David et Komornik(1969) (Ejjaouani, H., 2008).

Chapitre II: Méthodes de caractérisation des sols gonflants

II.3.4 Méthode de Williams et Donaldson (1980) :

Williams et Donaldson (1980), introduisent un nouveau facteur qui est l'activité, ce dernier est défini comme étant le rapport de l'indice de plasticité sur le pourcentage de la fraction argileuse. L'abaque qu'ils proposent et qui est donnée sur la (figure II-3) , permet d'apprécier le potentiel de gonflement en fonction donc de l'activité, de la fraction argileuse et de l'indice de plasticité.

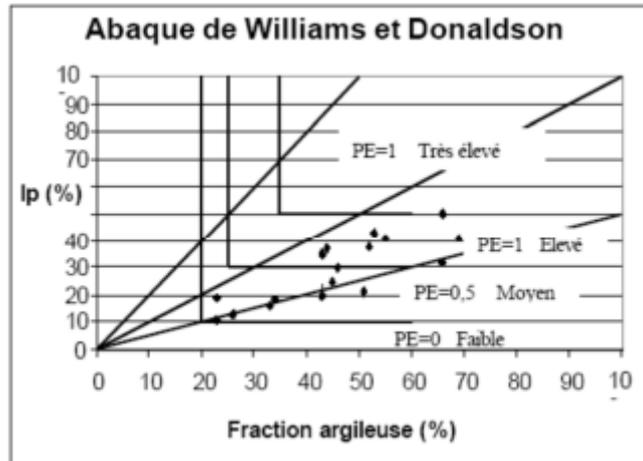


Figure –II-3- : Abaque de classification de Williams et Donaldson (1980) (Ejjaouani, H., 2008).

II.3.5 Méthode de Dakshanamurthy et Raman (1973) :

Ce sont aussi inspirés du diagramme de plasticité proposé par Casagrande en 1948, pour fournir une classification du niveau de gonflement. Le diagramme, qui comprend la ligne A de séparation des sols gonflants, est divisé en 6 zones le long de l'axe des abscisses (Figure II-4).

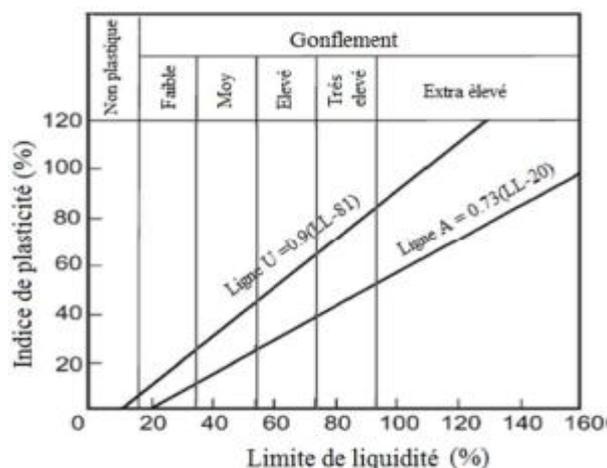


Figure II-4- Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman,1973) (Ejjaouani, H., 2008).

Chapitre II: Méthodes de caractérisation des sols gonflants

Tableau II-3 : Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman (1973) (Aoun M., 2016)

Limite de liquidité W_L	Classification
0 – 20	Non gonflant
20 – 35	Gonflement Faible
35 – 50	Gonflement Moyen
50 – 70	Gonflement Elevé
70 – 90	Gonflement Très élevé
>90	Gonflement critique

Les essais de gonflement sont généralement lents et coûteux, alors que lors des études d'avant-projet, on a toujours besoin de donnée rapide pour prévoir le comportement des sols de fondations. Donc des valeurs sommaires de la pression de gonflement sont très utiles pour l'orientation des travaux des autres étapes de reconnaissance (Aoun M., 2016). C'est pour cette raison que dans la littérature, plusieurs corrélations sont proposées et elles permettent d'estimer ce comportement. De nombreux auteurs ont tenté de relier la pression de gonflement σ_g ou le potentiel de gonflement ε_g aux paramètres classiques de mécanique des sols (teneur en eau initial w_i , densité sèche γ_d , limite de liquidité W_L , indice de plasticité I_p , limite de retrait W_r , pourcentage des particules argileuses $< 2 \mu\text{m}$, valeur de bleu de méthylène... etc.). Ces paramètres constituent les facteurs les plus influant sur le gonflement des sols. Le tableau 3 regroupe les principales équations de ces relations empiriques qui ont été proposées (Aoun M., 2016).

Chapitre II: Méthodes de caractérisation des sols gonflants

Tableau II-4- : Résumé sur les modèles empiriques du calcul du taux de gonflement ε_g et de la pression de gonflement σ_g dans la littérature (Aoun M., 2016)

Auteur(s)	Equations	Paramètres
Seed et al. (1962)	$\varepsilon_g = 2.16 \cdot 10^{-3} (I_p)^{2.44}$	ε_g = Potentiel de gonflement (%) I_p = Indice de plasticité
Ranganatham et Satyanarayana (1965)	$\varepsilon_g = 41.13 \cdot 10^{-5} (I_s)^{2.67}$	ε_g = Potentiel de gonflement I_s = Indice de retrait
Komornik et David (1969)	$\varepsilon_g = 6.7 + 2.4I_p \rightarrow \text{marnes}$ $\varepsilon_g = 0.9 + 2.1I_p \rightarrow \text{argiles}$ $\sigma_g = -2.132 + 0.0208W_l + 6.66 \cdot 10^{-4}\gamma_d - 0.0269W$ $\lg \sigma_g = 5,3 - \frac{147e}{I_p}$	ε_g : Potentiel de gonflement (%) σ_g : Pression de gonflement (Kpa) W_L : limite de liquidité (%) w : Teneur en eau (%) γ_d : densité sèche (Kg/m ³) I_p : Indice de plasticité
Vijayvergia et Ghazzaly (1973)	$\begin{cases} \text{Log} \varepsilon_g = 0,033w_L - 0,083 w + 0,458 \\ \text{Log} \sigma_g = 0,033w_L - 0,083 w + 1,967 \end{cases}$	ε_g : Potentiel de gonflement (%) σ_g : Pression de gonflement (Kpa) W_L : limite de liquidité (%) w : Teneur en eau (%)
Vijayvergia et Ghazzaly (1973)	$\begin{cases} \text{Log} \varepsilon_g = 0,033w_L + 0,00321 \gamma_d - 6,692 \\ \text{Log} \sigma_g = 0,033w_L + 0,00321 \gamma_d - 5,154 \end{cases}$	ε_g : Potentiel de gonflement (%) σ_g : Pression de gonflement (Kp) W_L : limite de liquidité (%) γ_d : densité sèche (Kg/m ³)

Chapitre II: Méthodes de caractérisation des sols gonflants

Didier et al. (1973)	$\log \sigma_g = uW_l + v\gamma_d - tW + k$ $= 2.55 \frac{\gamma_d}{\gamma_w} - 1.705$	<p>u, v, t, k sont des constantes</p> <p>σ_g : Pression de gonflement (Kpa)</p> <p>w_L : limite de liquidité (%)</p> <p>w : Teneur en eau (%)</p> <p>γ_d : densité sèche (Kg/m³)</p>
Schneider and Poor (1974)	$\text{Log} S_p = 0.9 \left(\frac{PI}{W} \right) - 1.19$	<p>S_p : Pourcentage de gonflement</p> <p>w : Teneur en eau (%)</p> <p>I_p : Indice de plasticité</p>
Johnson (1978)	$PI \geq 40 S_p = 23.82 + 1.5546PI$ $+ 0.08424H$ $+ 0.1W - 0.0432PI.W$ $- 0.01215PI.H$	<p>S_p : Pourcentage de gonflement</p> <p>w : Teneur en eau (%)</p> <p>I_p : Indice de plasticité</p> <p>H : profondeur du sol</p>
Mckeen -Lyton cité par Mckeen (1980)	$S_p = -100\gamma_h \log_{10} \frac{\bar{\tau}_f}{\bar{\tau}_0}$	<p>γ_h = Indice de compression de succion</p> <p>$\bar{\tau}_f$ = Poids (contrainte) final de la succion in situ</p> <p>$\bar{\tau}_0$ = Poids (contrainte) initial de la succion in situ. (Donald et Wickham, 1983)</p>
Brakley (1983)	$\varepsilon_g = \left(5.3 - \frac{147e}{I_p} - \log P \right) (0.525 I_p + 4.1 - 0.85 w)$ $\log \sigma_g = 5.3 - 147 \frac{e}{I_p}$	<p>ε_g : Potentiel de gonflement (%)</p> <p>σ_g : Pression de gonflement (Kpa)</p> <p>P : Surcharge extérieure (Kpa)</p> <p>e : Indice des vides</p> <p>w : Teneur en eau(%)</p> <p>I_p : Indice de plasticité</p>

II-4 Méthodes directes de caractérisation :

II-4-1 Mesure de gonflement libre :

Le gonflement est défini comme la déformation volumétrique totale : $\Delta V/V_0 = \Delta H/H_0$,

Avec :

V_0 : volume initial de l'échantillon,

H_0 : hauteur initiale de l'échantillon).

Les essais de gonflements s'effectuent en utilisant l'odmètre. L'échantillon est soumis au seul poids du piston, et mis en contact à un réservoir d'eau à charge nulle. La variation de la hauteur du piston est mesurée en fonction du temps jusqu'à ce qu'elle se stabilise, la valeur finale permet de calculer la variation relative du volume de l'échantillon noté G exprimé en pourcentage (%).

$$G(\%) = \frac{H_f - H_i}{H_i} \times 100 \dots\dots\dots$$

$H_i = H_0$: hauteur initiale.

H_f : hauteur finale après stabilisation.

II-4-2 Mesure de la pression de gonflement :

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la pression de gonflement à l'œdomètre les essais les plus répandues sont les suivants :

a-Méthode du gonflement libre :

Après la phase de gonflement libre sous faible charge, l'échantillon quasi saturé suit un chemin de chargement jusqu'à ce que son volume revien à sa valeur initiale. La contrainte correspondante est la pression de gonflement (Jennings et Knight, 1957 ; Chen, 1988). (Figure II-5)

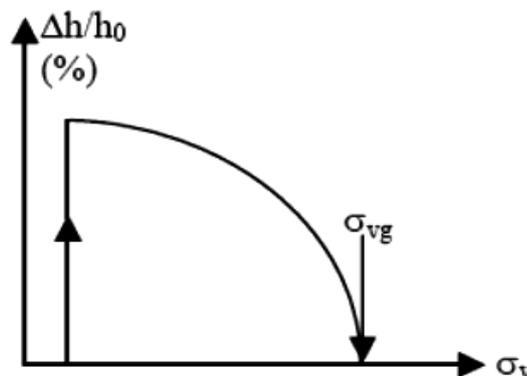


Figure II-5- : Méthode de gonflement libre à l'appareil oedométrique. (Benaissa Mohamed , 2011)

b-Méthode du volume constant :

La méthode de gonflement à volume constant selon la norme ASTM se résume comme suit : La tendance de l'échantillon à gonfler est neutralisée par l'application d'une charge croissante dès que le déplacement du comparateur atteint 1/100 mm. La valeur de la charge lorsque l'échantillon est stabilisé est la pression de gonflement (Sullivan & Mac Lelland, 1969; Dédier et al., 1987 ; cité par Chen, 1988). (figure II-6).

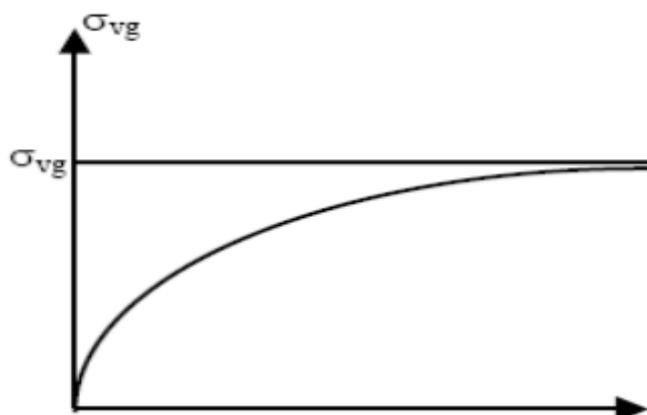


Figure -II-6- : Méthode de gonflement à volume constant (Benaissa Mohamed , 2011)

c-Méthode sous charge constante :

Quatre éprouvettes au moins sont soumises à quatre pressions verticales différentes. Ces quatre éprouvettes sont ensuite humidifiées et le potentiel de gonflement final est déterminé dans chaque cas. La courbe $\Delta h/h$ en fonction de la pression appliquée lors de l'humidification est tracée. Une interpolation linéaire est réalisée entre les quatre points pour estimer la pression pour laquelle le gonflement est nul. Cette pression correspond à la pression de gonflement (figure II-7). Le potentiel de gonflement dans cette méthode est variable, il correspond à la variation de hauteur sous une pression donnée. Deux variantes de cette procédure existent, différant par le mode d'application de la charge verticale. La charge est appliquée, puis l'humidification suit 5 mn après. La procédure AFNOR nécessite la stabilisation des déformations avant le début de l'humidification (Said Khaddaj, 1992).

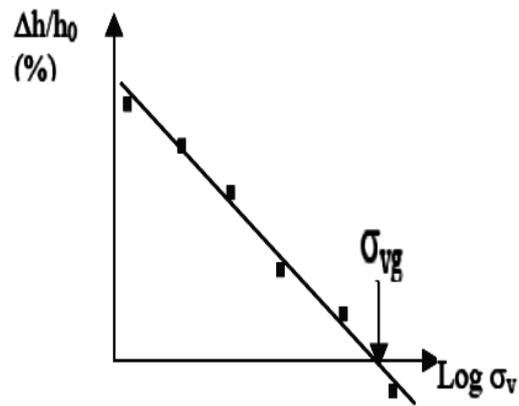


Figure-II-7-: Méthode sous charge constante (Benaissa Mohamed , 2011)

d- Méthodes d'essai oedométrique :

La plupart des méthodes de détermination des paramètres caractéristiques de gonflement se font en laboratoire. Les méthodes de mesure directe est effectuer selon la norme NFP 94-091 dont les grandes lignes sont résumées comme suit :

- Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur plusieurs éprouvettes provenant d'un même échantillon, chaque éprouvette de sol est placée dans une enceinte cylindrique rigide qui est l'oedomètre (figure II-8) et un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical maintenu constant.

L'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lorsqu'elle est mise en présence d'eau.

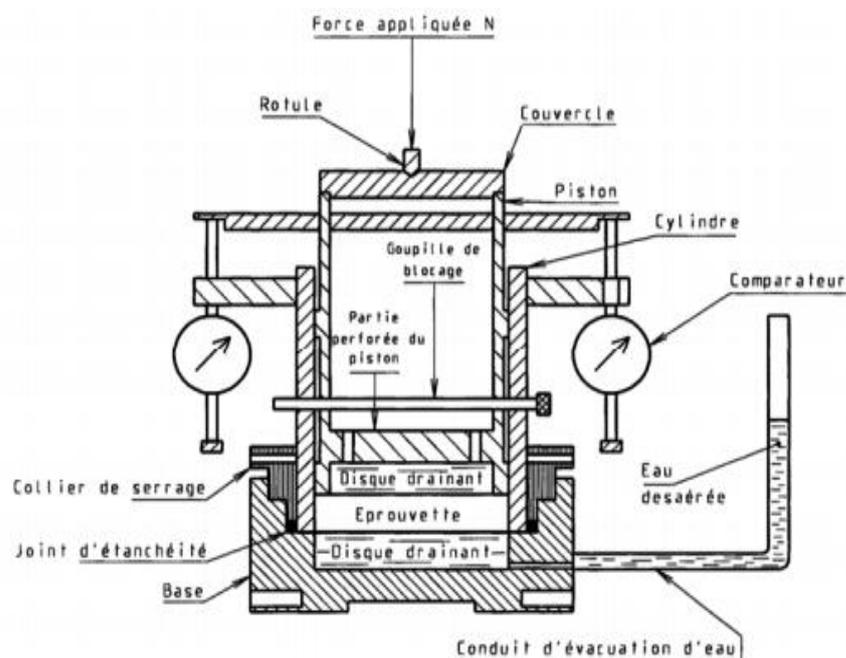


Figure –II-8- : Cellule oedométrique type TERZAGHI

Chapitre II: Méthodes de caractérisation des sols gonflants

- Déroulement de l'essai :

L'éprouvette et la bague de découpage éventuelle de caractéristiques géométriques connus sont pesées puis introduites dans la cellule oedométrique entre les deux disques drainants secs revêtus de papier-filtre.

Le dispositif de répartition de l'effort sur l'éprouvette est placé au contact de l'éprouvette et le système de mesurage de la variation de la hauteur d'éprouvette est mis en place. la contrainte moyenne due seulement au dispositif d'application de l'effort doit être inférieure à 10KPa.

- Chargement

L'effort correspondant à la contrainte d'essai est appliqué au moins 2 h et jusqu'à ce que la variation de hauteur de l'éprouvette entre deux lectures espacées de 1h soit inférieure à 10 μ m.

L'eau est introduite dans le bac d'imbibition.

L'effort appliqué à l'éprouvette est maintenu constant jusqu'à stabilisation de sa hauteur.

Les courbes des pressions de gonflement de notre cas d'étude sont rapportées à l'annexe.

Conclusion :

Nous pouvons conclure enfin, que les méthodes indirectes de caractérisation des sols gonflants, restent le plus souvent approximatives et différencient seulement les sols à fort potentiel de gonflement des sols à faible potentiel de gonflement. Ces méthodes ne permettent pas d'obtenir de résultats toujours compatibles entre eux. Ainsi, il est difficile de classer les sols gonflants uniquement à partir de la valeur d'un indice tirée d'une mesure indirecte de reconnaissance. De plus, il faut souligner que les relations sont en général déterminées à partir d'échantillons remaniés dont le comportement n'est pas identique à celui d'échantillons naturels. Par conséquent, ces méthodes indirectes de caractérisation du gonflement sont certainement très utiles pour prévoir le potentiel de gonflement lors d'études statistiques sur des sols très différents, mais elles ne peuvent remplacer les mesures expérimentales.

Les méthodes indirectes consistent à établir une corrélation entre le taux de gonflement ou la pression de gonflement et quelques paramètres géotechniques faciles à obtenir au laboratoire. Ainsi, après avoir déterminé les paramètres géotechniques du sol, l'emploi de formules empiriques permet d'estimer rapidement le potentiel de gonflement du sol, c'est-à-dire d'estimer ou de quantifier le gonflement et (ou) la pression de gonflement qui peuvent se développer en cas de variations des conditions hydriques et (ou) mécaniques.

Les méthodes directes, sont certainement plus proches du comportement réel du sol, elles doivent être appliquées dans les étapes approfondies de la reconnaissance. Dans tous les cas, les deux méthodes sont très utiles pour : orienter les travaux de reconnaissance, choisir le type de fondation, proposer les recommandations nécessaires et enfin pour éviter les problèmes de détérioration des ouvrages en général.

Dans ce qui suit de notre travail, certains de ces méthodes sont appliqués pour la classification des sols de la zone d'étude vis-à-vis du phénomène de gonflement, mais avant ça, des exemples sur les problèmes causés par les sols gonflants, sont donnés au chapitre suivant.

Chapitre III:

pathologie des constructions
bâties sur sols gonflants

III. 1 – introduction :

Les argiles gonflantes, se trouvant dans les régions arides et semi-arides, sont toujours exposées aux contrastes remarquables d'humidité.. Dans certaines régions on assiste à deux saisons bien distinctes, l'une pluvieuse et l'autre sèche. En période sèche le matériau se fissure et présente des polyèdres (Djaani et Benmansour 2011).

Dans de nombreux pays du monde, le gonflement est à l'origine de fréquents désordres des ouvrages légers. Aux Etats-Unis d'Amérique les dommages provoqués par le gonflement des sols présentent un coût supérieur à celui de toutes les catastrophes naturelles. En Algérie l'urbanisation de certains quartiers des villes et la construction des routes se heurtent aux problèmes que pose le phénomène de gonflement (mouroux et al , 1988).

III. 2- Causes du gonflement :

Pour que le gonflement d'un sol se produise, il faut que des « minéraux expansifs » puissent entrer en contact avec de l'eau. En effet toutes les observations ayant portées sur les conséquences résumées du gonflement d'un sol, qu'il s'agisse de la construction de tunnels, d'habitats ou de voiries, ont abouti à la formation de cette équation (Jouini M et Said N, 2016).

Minéraux expansifs + eau = gonflement

Quand un ouvrage est mis en contact avec des sols expansifs, les désordres qui peuvent l'affecter après sa construction et qui sont attribués au caractère gonflant des terrains encaissants résultent d'un changement de teneur en eau de ces sols et trouvent généralement leur origine dans l'une ou l'autre des causes suivantes (Jouini M et Said N, 2016).

- L'ouvrage est construit dans une région à saison constatées (saison sèche - saison humide ,en région tropicale par exemple) ;
- La techniques d'exécution ou de confortement de l'ouvrage ne prennent pas en considération les teneurs en eau supplémentaires ;
- Lors des travaux de construction d'un tunnel par exemple, la ventilation est supprimée, ce qui a pour effet d'augmenter la teneur en eau de l'air ambiant ;
- Des canalisations sont rompues ce qui fait que l'eau s'infiltré dans les terrains gonflants ;
- La construction d'un ouvrage proche perturbe l'écoulement des eaux souterraines ;
- Des travaux de drainage contribuent au retrait des sols gonflants ;
- Des mesures d'imperméabilisation ne sont pas prises, ce qui contribue à rendre les terrains sensibles aux variations saisonnières (alternance saison sèche - saison humide) ;

III. 3 - Conséquences du gonflement :

Les désordres provoqués par le gonflement affectent généralement les constructions apportant de faible contrainte sur le sol support. La pathologie dépend donc du type d'ouvrage ainsi que du type de fondation non conforme à la pression de gonflement des sols.

III. 3. 1 - Cas des constructions et des bâtiments :

Les bâtiments, et particulièrement les maisons individuelles construits sans précautions sur sols gonflants, présentent souvent des figures de dégradation telles que fissures des murs porteurs, voire des murs de remplissage, bombement de l'éventuel radié...etc., qui conduisent parfois à l'instabilité générale du bâtiment par rupture ou déboisement de ses éléments porteurs.

Ces désordres résultent du caractère différentiel que prennent les mouvements du sol de fondation (tassement ou gonflement) sollicitant la structure en flexion ou en cisaillement (figure III-1) (mouroux et al ,1988)

Ces différences relatives de mouvement proviennent par ailleurs de l'hétérogénéité des sols de fondation, de celle des forces appliquées par la structure sur le sol, ainsi que des perturbation hydriques que le bâtiment peut engendrer (Ejjaaouani 2008). Les dégâts causés aux structures des bâtiments reposant sur des sols gonflants aux U.S.A (1976) ont été chiffrés à environ 2,25 milliards de dollars (mouroux et al ,1988) La figure III-1 illustre les différents types de dégâts causés à un bâtiment qui repose sur un sol sujet au gonflement ou au retrait.

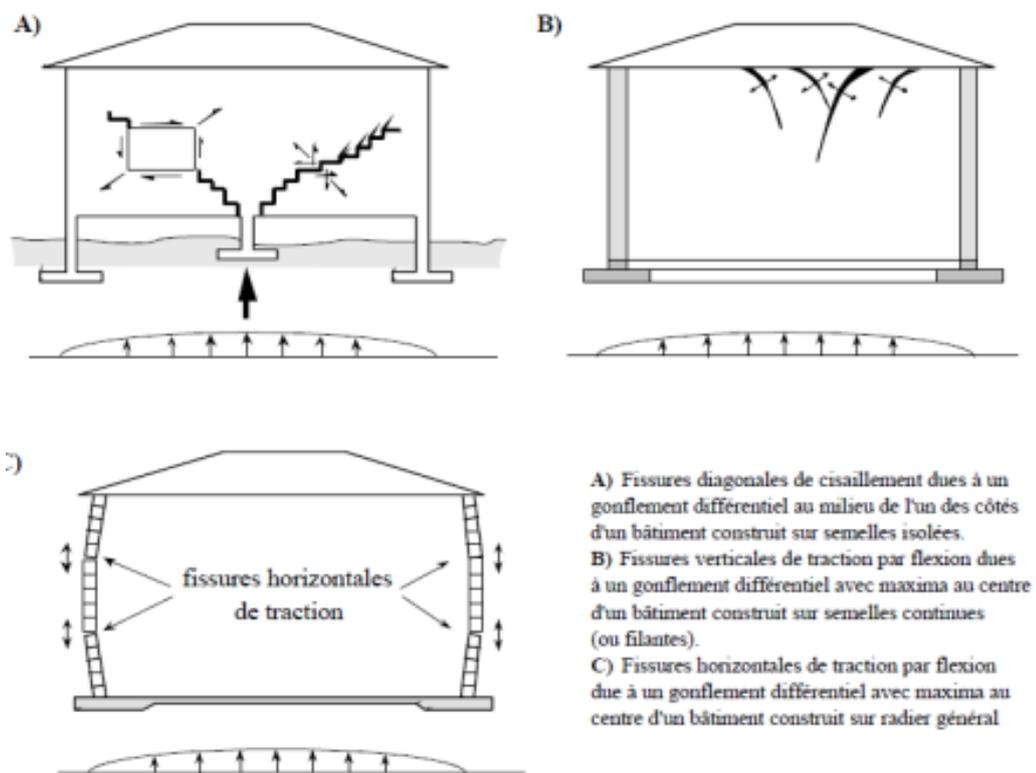


Figure- III-1- : Formes et Directions de Fissuration, (Ejjaaouani 2008).
(Bâtiment reposant sur un sol sujet au gonflement ou au retrait)

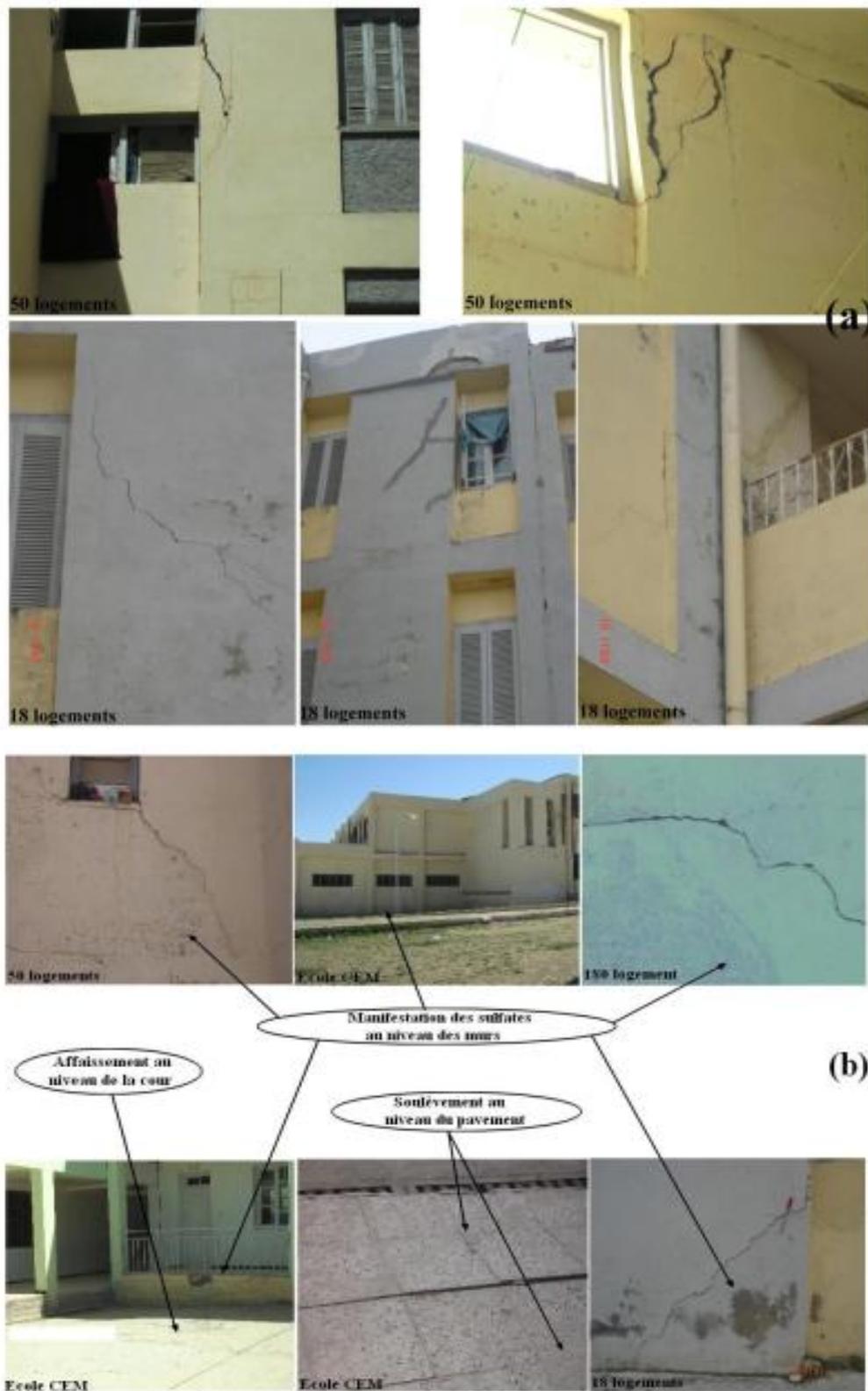


Figure –III-2- (a) (b) - : photos montrant l'état actuel de quelques constructions dans la région d'études (commune d'EL Kouif) manifestant du retrait – gonflement et effet de sulfate.



Figure –III-2- (c) - : photos montrant l'état actuel des quelques constructions dans la région d'études (commune d'EL Kouif) : dégradation complète de quelques constructions.

(Aoun M, 2016).

III. 3. 2 - Cas des voiries et réseaux divers :

Les dommages touchent également les voiries et réseaux divers. Les réseaux de drainage peuvent par exemple subir des inversions de pente qui provoquent le débordement des drains alimentant de cette façon le phénomène de gonflement (Jouini M et Said N, 2016)

Les routes non conçues pour les sols gonflants peuvent facilement être détruites par enchaînement des phénomènes d'évaporation de l'eau, de retrait des sols, de fissuration d'infiltration de l'eau à travers les fissures, puis de gonflement plus en profondeur.

III. 3. 3 - Cas des chaussées :

Le gonflement peut provoquer des désordres importants à la structure de la chaussée. Ce phénomène est causé par des variations de teneur en eau du sous-sol. Il peut être attribué au climat et à la surcharge. D'autres auteurs signalent que sur les routes d'importance moyenne en Grèce malgré le renouvellement d'asphalte il y'a apparition de divers type de fissures. Les désordres subits par la chaussée se résument (figure III-3).



Figure –III-3- : Dégradations de chaussées (Ejjaaouani 2008).

III. 4 - Nature et manifestation du gonflement :

Mouvements de terrain différentiels provoqués par des variations de volume de certains minéraux de la phase argileuse, soumis à des variations de teneur en eau (Jouini M et Said N, 2016)

- Concernent uniquement des sols argileux avec une ampleur particulière en présence de minéraux gonflants ;
- En climat tempéré, phénomène consécutif surtout aux périodes de sécheresse (lié à l'évapotranspiration) ;
- Se manifestent surtout sur des constructions individuelles légères, peu profondément ancrées.

C'est un risque naturel qui coûte très cher à la collectivité mais qu'on peut facilement prévenir sans limiter la constructibilité des secteurs concernés.

III. 4. 1 - Facteurs influençant l'apparition du gonflement (Jouini M et Said N, 2016)

- Un sol d'assise de fondation est certainement formé d'un mélange de différents constituants dont le sol argileux est l'un de ces constituants, celui-ci contient au moins 30% d'éléments fins de diamètre < 2 μ m.

- Toutes les argiles sont sujettes au phénomène de retrait-gonflement (gonflement inter particulaire, lié à l'adsorption d'eau entre les micro-agrégats de feuillets et dépendant de l'état de consolidation) mais certaines le sont beaucoup plus que d'autres (gonflement intracristallin, lié à la surface des feuillets élémentaires concernant surtout les smectites et les inters stratifiés).

- Une formation géologique sera d'autant plus sujette au retrait-gonflement qu'elle est riche en argiles (proportion, épaisseur et continuité des bancs argileux) et que sa phase argileuse est riche en minéraux gonflants (active).

On constate donc que le principal facteur est lié au type de formation elle-même et au type de minéraux qui la constitue.

III. 4. 2 - Eléments intervenant au gonflement:

Pour cerner les éléments pouvant intervenir au phénomène de gonflement des sols, nous devons savoir bien situer le site de fondation dans son environnement : géologique (type de lithologie par exemple), hydrogéologique (existence de nappe souterraine ...etc.),

topographique (terrain en versant ou en pleine...etc.) et physique (surtout les actions anthropiques).

III. 4. 2. 1 – Hydrogéologie :

Les éléments d'hydrogéologie telle que l'existence ou non des nappes, la position des nappes et l'évolution de ces nappes souterraines entre périodes sèche et humide, le rabattement des nappes ...etc., ces éléments interviennent de manière remarquable dans l'accentuation du phénomène de retrait-gonflement. On peut donc résumer les situations suivantes :

- Une nappe superficielle peu limiter la dessiccation de la tranche superficielle de sol ;
- L'évolution des nappes joue un rôle important dans le phénomène de retrait-gonflement ;
- Un rabattement temporaire accentue la dessiccation en surface ;
- Dans le cas couche argileuse surmontant une couche sableuse peut diminuer la capillarité et donc provoquer la dessiccation ;
- Rôle des nappes alluviales et des nappes perchées temporaires... etc.

III. 4. 2. 2 – Topographie :

Selon leur topographie, les sites sont différemment exposés à l'action du soleil, les pentes exposées au sud sont généralement plus sensibles à l'évaporation, de même les conditions d'écoulement et de ruissellement ne sont pas identiques et peuvent donc limiter la recharge des sols et par la suite accentuent leur dessiccation, d'après les techniques d'encrage les fondations ne sont pas égales sur la même cote entre le côté amont et aval, en fin, les fondations elles même constituent des barrières hydrauliques pour la circulation en subsurface. Nous pouvons donc résumer ces éléments ainsi :

- Les ruissellements limitent la recharge des terrains et accentuent la dessiccation des sols ;
- Accentuation de la dessiccation sur les versants au midi.
- Ancrage souvent insuffisant du côté aval.
- Rôle de barrière hydraulique des fondations coté amont.

III. 4. 2. 3 - Actions anthropiques :

Les actions anthropiques sont connues dans tous les cas d'aménagement par leur rôle important dans les désordres et l'instabilité des terrains en général. Ces actions sont énumérées comme suit :

- Modification des écoulements ;
- Imperméabilisation des sols ;
- Drainage ou fuite de réseaux ;
- Pompages ;
- Sources de chaleur enterrées ;
- Plantations d'arbres ;
- Défaut de fondation et/ou de structure.

III.4.3. Manifestation des désordres :

Les mouvements différentiels des terrains supports des fondations se manifestent par des désordres qui affectent l'ensemble de la construction. Ces désordres sont à différentes échelles. Les photos dans la figure III-4 : (a), (b), (c) et (d), montrent certains exemples de ces désordres. Encore la figure III-5 montre des exemples des désordres causés par le phénomène de retrait-gonflement des sols en Algérie.



- ✓ Tassement différentiel de l'angle du bâtiment.
- ✓ Fissurations au niveau des nervures des semelles filantes.

Figure –III-4- (a)- : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013).



- ✓ Ouverture des joints de dilatation d'environ 15 cm jusqu'au dernier niveau.

Figure – III-4- (b) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013).



- ✓ Endommagement des réez de chaussée des deux blocs;
- ✓ Réez de chaussée entièrement « refait » en maçonnerie.

Figure – III-4- (c) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013).



- ✓ Propagation des fissures au niveau des parois en maçonnerie (jusqu'au dernier niveau)

Figure –III-4- (d) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions le site 185 logements Mila (Hazmoune H, 2013).



**Soulèvements local de la dalle en béton
du fait de l'infiltration de l'eau d'une canalisation.**



**Soulèvements et rupture de la dalle en
béton du fait de l'infiltration de l'eau d'une
canalisation.**

**Figure – III-5- (a) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de
constructions Setif (C T C- E S T).**



**Ouverture d'une fissure dans un mur en maçonnerie, du fait du gonflement du sol
(CEM KHEMISTI SETIF).**



Ouverture d'une fissure dans un mur en maçonnerie du fait du gonflement différentiel du sol.

Figure – III-5- (b) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions (CEM KHEMISTI SETIF) (C T C- E S T).



Détachement d'un joint de tassement, due au gonflement (CEM KHEMISTI SETIF).

Figure – III-5- (c) - : photos montrant les différentes pathologies au niveau de constructions (CEM KHEMISTI SETIF) (C T C- E S T).

Conclusion :

Sous le nom de, sols gonflants, on regroupe des sols comportant des argiles dont la réaction « spontanée » aux variations de teneur en eau a des conséquences visibles sur le comportement des constructions. Toutes les argiles réagissent aux variations de l'eau, mais certaines ont une structure plus sensible, même quand elles sont mélangées à d'autres minéraux, comme le calcaire dans les sols marneux. La sensibilité des sols argileux aux variations de teneur en eau est un facteur majeur pour le dimensionnement géotechnique des constructions.

Dans ce chapitre du présent travail, nous avons énumérés les causes et les conséquences du gonflement, la nature et la manifestation du gonflement, les facteurs influençant l'apparition du gonflement et les éléments intervenant au gonflement. En fin, des exemples sur les types de manifestation des désordres sont donnés.

En conclu donc que l'on peut résoudre la plupart des problèmes rencontrés dans la pratique, sur la base des analyses saines et réalistes des problèmes. Cette analyse suppose que la reconnaissance géotechnique du site a détecté tous les paramètres influant sur le comportement du sol et son traitement.

Dans le reste du travail (chapitre 4), nous exposerons un cas particulier qui peut être le siège du phénomène de retrait-gonflement, c'est bien le cas de la cité Doukane situé à Tébessa (Nord -Est Algérie) cas des 100/1000 logements LPL. La situation générale du site est donnée, la classification des sols sur la base des différentes méthodes exposées ultérieurement est présentée dans le chapitre. Sur la base des résultats obtenus, nous donnons les recommandations nécessaires.

Chapitre IV:

Classification des sols vis-à-vis du
phénomène de gonflement (cas de la
cité 100 logements (Tébessa, NE
Algérien)

IV.1-Introduction :

Dans le but d’avoir une bonne pathologie du phénomène étudié, il est nécessaire d’utiliser le maximum d’information à savoir (morphologie, géologie et l’hydrogéologie), ainsi une bonne reconnaissance géotechnique du site en question.

A cet effet le présent chapitre traitera la reconnaissance de la région d’étude, cas de la cité 100/1000 logements de DOUKANE (Tébessa, Nord-Est, Algérie), à l’aide du Google Earth, nous avons donné la position du site en question (figure IV-1).

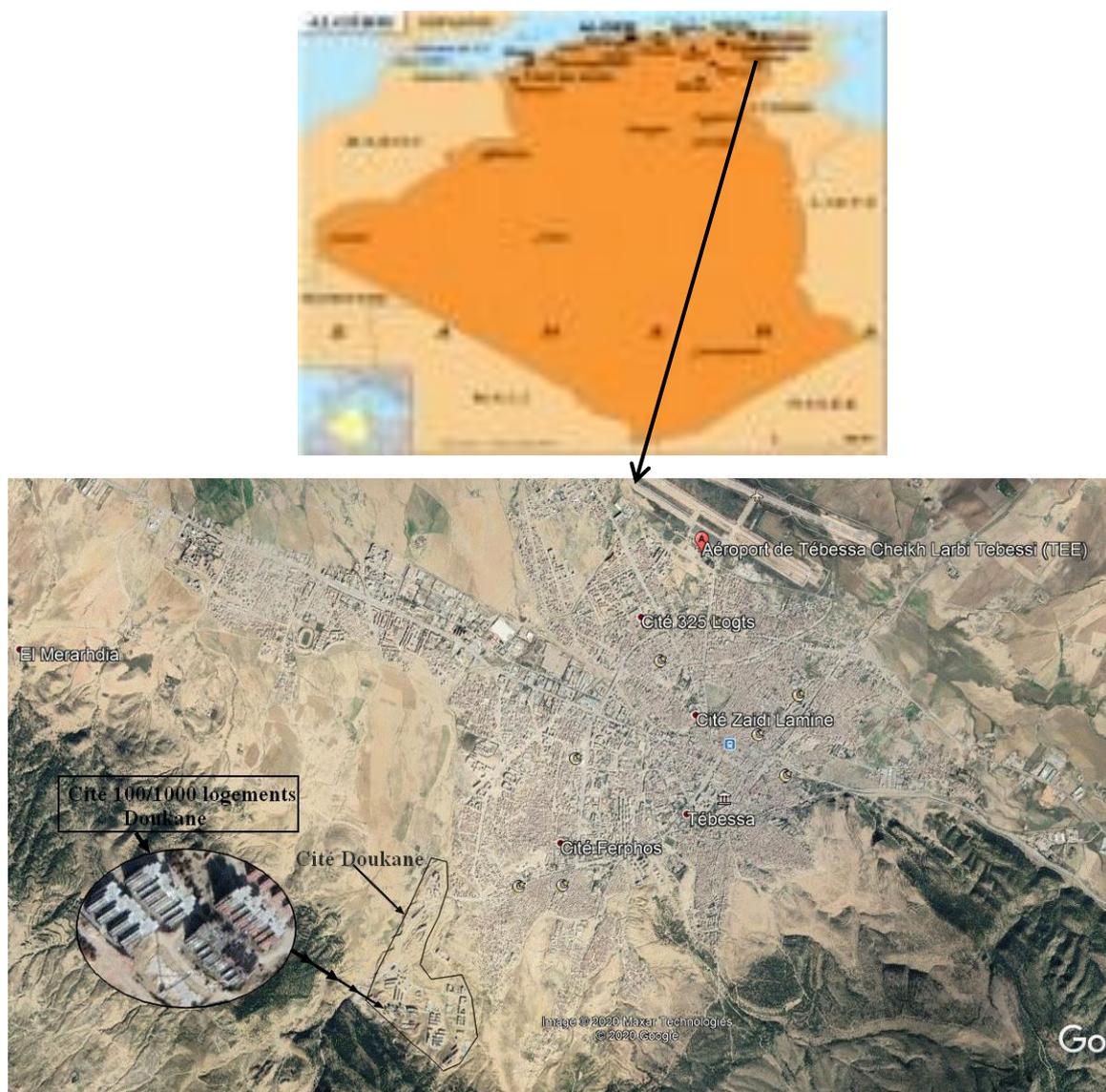


Figure - IV-1- Situation géographique de la zone d’étude (Google Earth).

IV.2- Situation géographique de la wilaya :

La wilaya de Tébessa de point de vue géographique est située à l'extrême Est des hauts plateaux à 40 km frontière Algéro-Tunisienne, s'élève à 960 m d'altitude. Elle couvre une superficie de 14339 Km² et elle est limitée :

- Souk Ahras au Nord ;
- Khenchella et Oum El Boughi a l'Ouest ;
- El Oude au Sud ;
- La Tunisie à l'Est.

Sa population est estimée à 648705 habitants, soit d'une densité moyenne de 45hab / km², elle se caractérise par son extrême jeunesse et son fort taux d'urbanisation, chose qui pousse l'extension de la ville (centre-ville, Daïra et commune) dans les différentes directions.

IV.3-Situation administrative :

La commune de Tébessa est située au Nord -Est de la wilaya est de 184 Km² de superficie, limitée :

- Au Nord par Boulhafdyr ;
- Au Nord -Est El kouif ;
- Au Nord-Ouest par El Hamammet ;
- Au Sud par El Malabiod ;
- A l'Est par Bekkaria ;
- A l'Ouest par Bir Mokadem.

La population est estimée à peu près de 52000 habitants.

IV.4-Aperçu sur le Transport :

La ville de Tébessa a subi un important progrès de point de vue économique et industriel et cela grâce à certains facteurs. Pour la ville de Tébessa, il consiste en deux routes nationales (RN10 et RN16). La RN10 assure la liaison avec Constantine au Nord-Ouest. La RN16 assure la liaison avec Annaba.

Le réseau routier est de 5153.3 Km dont :

- 523.4Km : routes nationales.
- 473.4Km : routes wilayales.
- 2157.5Km : routes communales.
- La ville possède aussi un réseau de chemin de fer, et un aéroport.

IV.5-Aperçu succinct sur la géologie de la région :

L'étude géologique est indispensable si on veut déterminer la nature et la distribution des formations de la zone d'étude. La région est formée essentiellement en surface par des tufs calcaires, par des argiles et par des marnes, ces dernières sont les principaux matériaux affectés par le phénomène de retrait- gonflement. Pour les géologues, les argiles apportent des informations sur les conditions environnementales (sources, conditions de formation et diagenèse...). Dans le cycle géologique, les minéraux argileux sont restreints aux couches externes et sont principalement formés à partir de minéraux préexistants, par réactions de la

croûte terrestre au contact de l'hydrosphère ou de l'atmosphère. Les argiles sont généralement absentes dans les roches magmatiques et métamorphiques, par contre elles sont abondantes dans les sols et les roches sédimentaires ainsi que dans les zones d'altération hydrothermale.

La figure IV-2 représente la carte géologique avec la distribution et la structure des différentes formations dans la région. Cette dernière fait partie d'un bassin d'effondrement contourné par une série de montagnes, composée essentiellement par les formations suivantes :

- Marnes et gypses ;
- Argiles ;
- Dolomies et calcaires.

La dégradation des formations argileuses et marneuses donne directement des sols fins plastiques susceptibles de changer de volume suite au changement de leurs états hydriques.

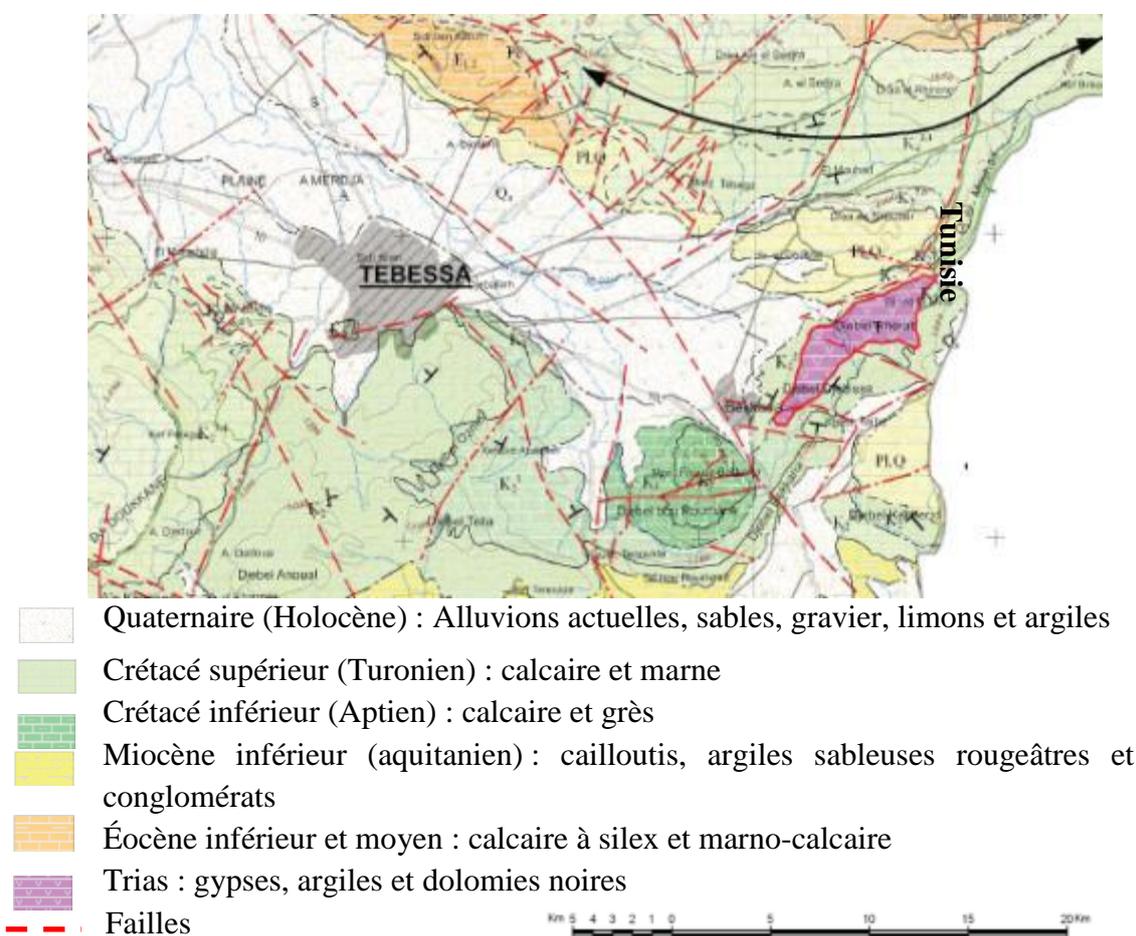


Figure –IV-2- Carte géologique de la région de Tébessa où se situe la zone d'étude (ANRH, 2009).

IV.6.Lithostratigraphie de la région de Tébessa :

L'étude stratigraphique de la région de Tébessa est essentiellement basée sur les travaux de recherches de plusieurs auteurs (Blés et Fleury, 1970 et J. M. Vila, 1980 et 1994).
Figure IV-3.

COLONNE LITHOLOGIQUE (De l'Aptien au Lutétien)

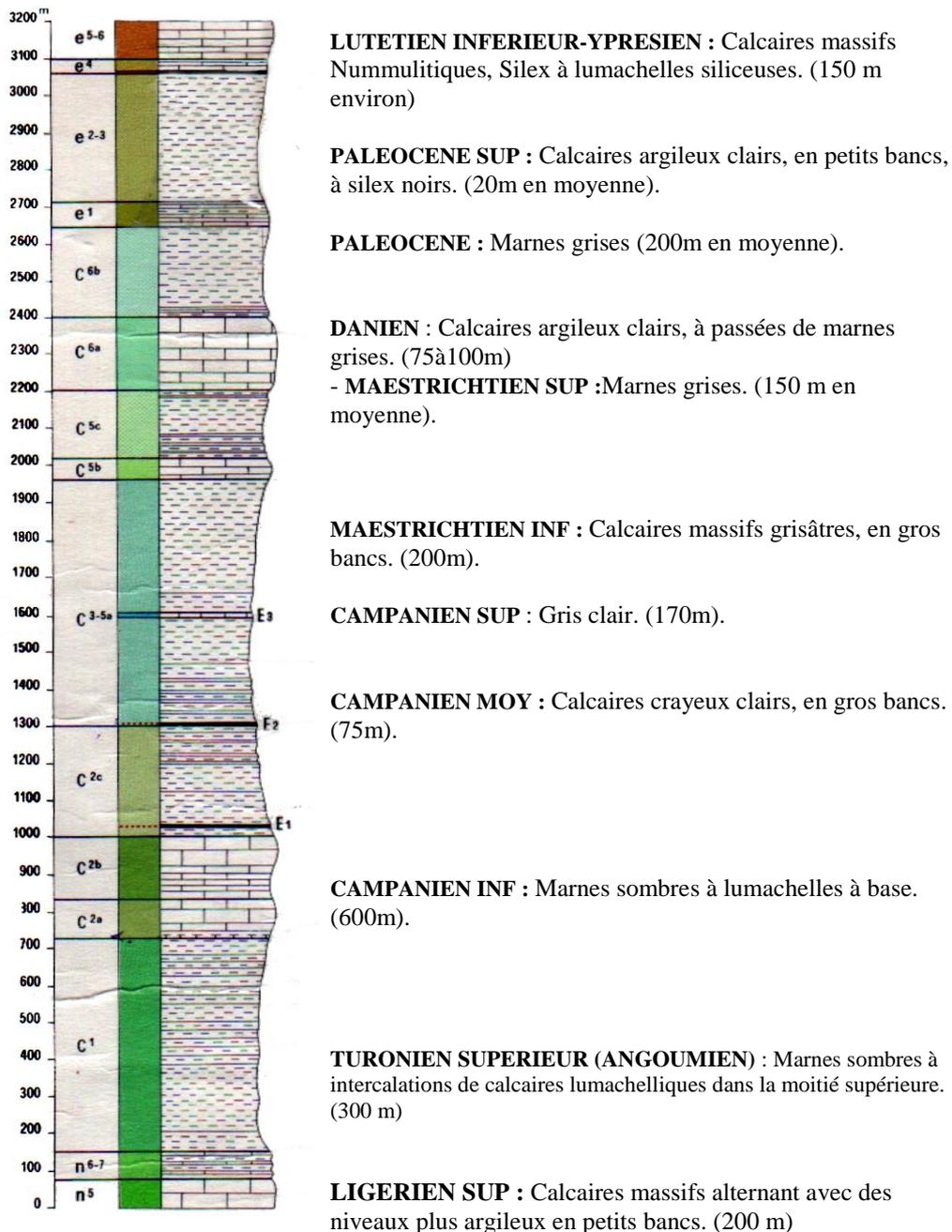


Figure –IV-3- Description tectonique et structurale de la région de Tébessa (Berrah, 2017).

IV.6.1-Les formations marines Mésozoïques (Secondaires) :

D'après les études ultérieures, les terrains recouvrant la région de Tébessa sont d'âge secondaire, la succession litho-stratigraphique rencontrée à l'échelle régionale est comme suite

IV.6.1.1- Trias :

Les formations triasiques ont une extension limitée au Nord- Est de Bekkaria et sont représentées par des diapirs au Djebel Djebissa (Durozoy, 1956 et Zerdazi, 1990 ; in Vila 1994). Ces formations sont constituées par des argiles rouges à gypse avec des lentilles de gypse et de sel, on observe de rares couches de dolomies bréchifiées noires, des calcaires dolomitiques roux et dolomies rousses. Les gisements de gypse sont liés à des formations triasiques.

IV.6.1.2- Crétacé :

Les formations de cet âge ont la plus grande extension et représente une large variation de dépôts.

IV.6.1.2.1-Crétacé inférieur :

Les formations Valentiniennes sont essentiellement représentées par des grès, des marnes et des calcaires avec des épaisseurs variant de 2 à 20m, et formation infra-crétacées sont connues dans la région de Tébessa au Dj. Djebissa (Durozoy, 1956 ; J.M. Villa, 1978 et J.M.Villa, 1994).

IV.6.1.2.1.1-Aptien :

- a) **Aptien moyen et inférieur** :Ce sont des calcaires massifs et dolomies, la moitié inférieure est à peu près entièrement dolomitique, l'épaisseur est de 400m, les fossiles distingués sont : les Gastéropodes, les Orbitolines et quelques Rudistes.
- b) **Aptien supérieur** :Ces formations sont représentées par des calcaires massifs, gris ou roux admettant trois intercalations de quelques mètres de marnes et de marno-calcaires sans éboulis. L'épaisseur de l'Aptien supérieur est voisine de 70m. On note aussi la présence d'Orbitolines.

IV.6.1.2.1.2-Albien :

- a) **Albien inférieur** : Formé par des alternances des bancs de calcaires bruns, épais de 60m et 10m de marnes jaunes au sommet caractérisées par des Rudistes et Ammonites.
- b) **Albien supérieur** :Il est caractérisé par un banc très distinct limitant cet étage au sommet, c'est un gré calcaire très dur renferme de nombreux nodules noirs et une faune abondante (Ammonites, Bélemnites, lamellibranches et Gastéropodes) Epais de 140m.
- c) **Vraconien-Albien supérieur** :La formation est constituée dans l'ensemble de calcaires et de marno-calcaires grises en plaquettes, en petites bancs et rares couches de marnes brunes, cette assise forme le bas des pentes du Djebel Bouroumane.

Les formations de l'Albien supérieur sont représentées à la base par des calcaires épais de 60m alors que la partie supérieure est constituée par une Alternance de calcaires et de marno-calcaires grises avec de rares couches de marnes brunes d'environ 150m d'épaisseur.

IV.6.1.2.2-Crétacé supérieur :

IV.6.1.2.2.1-Cénomaniens :

- a) **Cénomaniens inférieurs** : Représenté par des marnes noires très foncées au milieu desquelles s'intercalent des petits bancs de quelques décimètres de calcaires marneux noirs. L'épaisseur est de 60m à 80m vers la base de la série des empreintes d'Ammonites sont enregistrées, on note aussi des lamellibranches à son sommet.
- b) **Cénomaniens moyens** : Le Cénomaniens moyen du sommet est un ensemble de marnes vertes contenant des plaquettes de calcaires, son épaisseur est de 450m entre H'Maima et l'Oued Mellègue, tandis que le Cénomaniens moyen de la base est de 800m d'épaisseur.
- c) **Cénomaniens supérieurs** : Le Cénomaniens supérieur du sommet comprend des marnes, des marno-calcaires avec quelques traces de petits Incérâmes, l'ensemble atteint l'épaisseur de 160m.

Le Cénomaniens supérieur de base débute par les calcaires noirs peu marneux ; souvent en plaquettes et s'altèrent en gris clair. On note aussi la présence des fossiles Incérâmes de petites tailles et très mal conservés, l'épaisseur de l'ensemble est de 200m.

IV.6.1.2.2.2-Turonien :

Les formations du Turonien sont représentées du bas en haut par :

- a) **Turonien inférieur** : Il est constitué par une assise très constante de marno-calcaire grise en petits bancs, avec une épaisseur de 60m à 70m. Plus au Nord de Tébessa à Morisot, la formation est d'environ 300m d'épaisseur, des Gastéropodes et de rares Madrépores alternant avec des niveaux de calcaires plus argileux.
- b) **Turonien moyen** : C'est une assise massive (80m à 100m) de calcaire beiges ou roses, et de calcaires dolomitiques. Les bancs sont épais, sauf dans la partie inférieure qui comprend uniquement les calcaires marneux aux environs immédiats de Tébessa. L'ensemble est presque entièrement dolomitique à Dj. Anoual, Bekkaria et Tenoukla. La faune existante est dominée par les Radiolarites.
- c) **Turonien supérieur** : Son épaisseur est de 150m, il comprend de haut en bas : des marnes noires gypsifères, des marno-calcaire grise en plaquettes blanchâtres, avec des niveaux Luma chelliques qui se poursuivent dans le Coniacien.

IV.6.1.2.2.3-Coniacien :

Il a une épaisseur de 200m et il est constitué essentiellement, de marnes à Lumachelles. La limite inférieure est marquée de Hemitissotia, avec quelques intercalations de marno-calcaires qui contiennent des fragments de tests d'Inocérâmes.

IV.6.1.2.2.4-Santonien :

Il est constitué de marnes grises bleues, alternant avec de petits bancs de calcaires marneux avec Inocérames. Le Santonien est représenté par environ 300m de marnes grises à passées calcaires à la limite supérieure est marquée par la disparition de la *Globe truncana*.

IV.6.1.2.2.5-Emscherien :

Cette série est épaisse de 250m monotone, constituée de marnes noires ou vertes (Jaune en altération) avec des niveaux de calcaires qui surmontent la série, et une large extension de faune dans la partie inférieure.

IV.6.1.2.2.6- Campanien :

a) **Campanien inférieur** : Il a une épaisseur de 150m, formée de marnes grises avec présence de *Globe truncanas*.

b) **Campanien moyen** : Le Campanien moyen a une épaisseur de 70m à 80m de calcaires blancs à gris clair et crayeux. Ces calcaires en bancs s'alternent avec de petits niveaux de marnes claires, gris parfois verdâtre. L'altération de ces calcaires donne de petits nodules à desquamations concentriques bien différentes de plaquettes du Maestrichtien inférieur.

c) **Campanien supérieur** :

Il est formé d'environ 1500m de marnes grises claires et vert jaunâtre admettant dans le tiers inférieur de nombreuses petites intercalations de calcaires crayeux sous-jacents. Dans les 20 derniers mètres, c'est les calcaires supérieurs à *Orbitoides* qui caractérisent le Campanien supérieur.

IV.6.1.2.2.7- Maestrichtien :

a) **Maestrichtien inférieur** : Il est constitué de 170m de marnes grises et de calcaires surtout dans la région de Morssott. Les marnes sont souvent marquées par les éboulis aux pieds des reliefs formés par l'assise précédente. Au-dessus d'Ain Chabro, dans la région de Tébessa, les marnes passent à un marno-calcaire blanc, l'épaisseur est d'une trentaine de mètres. Un et parfois deux gros bancs de calcaires ocre très durs existent à la base des marnes, les masses calcaires finement bioclastiques livrent des sections de *Globe igérinédes* et *Hétérohélicides*.

b) **Maestrichtien moyen** : C'est une assise très constante et homogène dans toute la région et sur tout dans la région de Tébessa, comprenant 80m environs de calcaires blancs massifs, bien lités, nombreuses empreintes d'Inocérames aux pieds de Kef Gouraye. Près de la limite frontière d'El Anba, des masses calcaires détachées des grands reliefs, sont solidifiées sur les marnes sous-jacentes.

c) **Maestrichtien supérieur** : Il est représenté par 150m, en moyen de marnes grises montrant quelques intercalations calcaires à la base. Des Ammonites ainsi que des foraminifères caractérisant l'âge Maestrichtien de ce membre.

Remarque : dans l'exposé ci-dessus nous nous sommes limité presque aux formations existant dans la région d'étude (**figure IV-4**).

IV.6.2- Les formations continentales. Néogènes :

Le Néogène est représenté par le Miocène et le Pliocène, dans les dépôts surmontant en discordance, les roches crétacées et Paléogènes et sont signalées sur de grandes étendues.

Le pliocène est formé généralement par des argiles rouges, conglomérats et sables quartzeux, cette formation couvre largement les calcaires Eocènes.

En fin les dépôts quaternaires comblent les dépressions dans la région et surtout le fossé d'effondrement de Tébessa. Il est représenté par des formations typiquement continentales. Ce sont essentiellement des limons alluviaux à nombreux fragments détritiques grossiers. On observe également une large extension de la croute calcaire, qui présente une irrégularité soit en épaisseur ou en granulométrie.

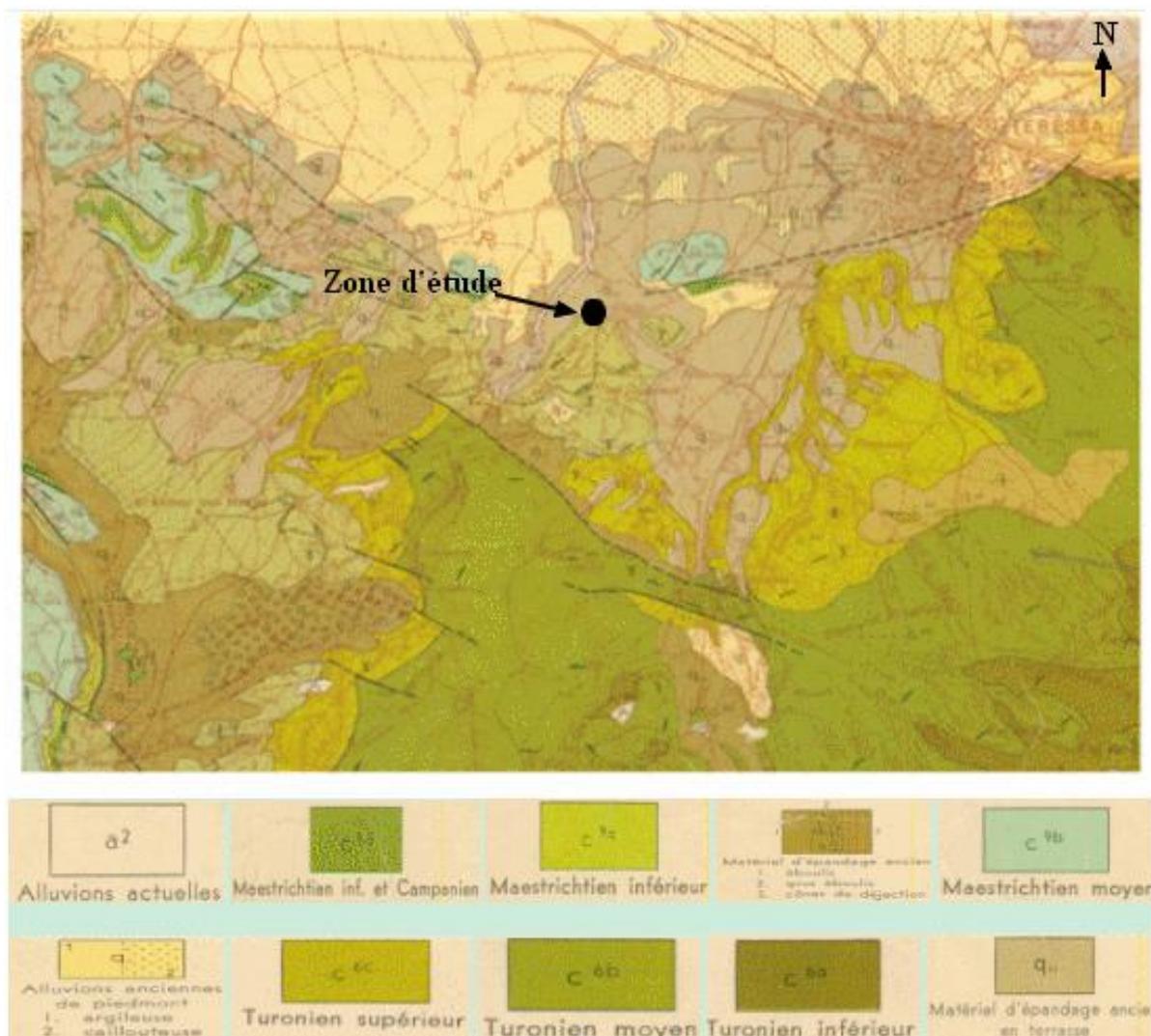


Figure –IV-4- Extrait de la carte géologique de Tébessa (à échelle 1/5000) montrant la situation de la zone d'étude.

IV.7- Description tectonique et structurale de la région de Tébessa (Latreche M., 2014):

Sur le plan structural, le territoire en question occupe deux régions géotectoniques qui se différencient par l'âge de leur base plissée et par la particularité de leur structure. Ce sont des plateformes hyperceniennes (Nord et Centre du territoire) et antécambrienne (Sud) divisées par les failles Nord atlasique (Flexure Saharienne).

Le territoire de la région de Tébessa est parcouru par des grandes structures synclinales et anticlinales de direction NE-SW. Ces structures sont bien visibles en particulier sur le plateau de Chéria et au Dj Dyr.

Dans la zone d'El Ma-Labioud, des structures plus profondes sont recouvertes par le Miocène continental, elles sont donc antérieures au Miocène et à la phase de distension qu'a provoqué l'effondrement de la plaine de Tébessa Morsott qui est beaucoup plus au Nord derrière Bekkaria.

Si on considère les terrains de la feuille de Morsott, il est difficile de déterminer l'âge des plissements, les seuls dépôts tertiaires postérieures à l'émergence Eocène, sublittoraux attribués au Tortonien sont localisés au cœur du synclinal du Dj Dyr, ou, ils surmontent sans discordance apparente les calcaires du lutétien inférieur. Ce pendant à l'Est d'El Kouif entre la limite de la feuille de la frontière Tunisienne les mêmes sables du Miocène inférieur reposent en discordance sur les calcaires Eocène ou les marnes Paléocènes.

D'autre part, on sait que d'après G-Dubourdieu (1949-1951 et 1956-1959) plus au Nord (feuilles Bou Khadra et Dj Ouanza, ainsi que Dj Mesloul). Le Miocène est discordant sur tous les termes de la série Crétacé qui est remanié sur le Trias (feuille de Tébessa) on note aussi, le Miocène discordant sur les termes du Crétacé. Le plissement de la région est donc postérieur au lutétien inférieur et antérieur au Miocène et se trouve, sans doute responsable de l'émergence de la région à l'Eocène moyen (Dubourdieu, 1959).

Un grand accident de direction NE-SW semble couper et décrocher la plaine de Tébessa, il s'agit d'une faille inverse. Le compartiment S-E chevauche le compartiment N-W, ceci est bien visible au Djebel Chemela entre Morsott-Tébessa (**figure IV-5**).

La continuation S-W de cet accident semble se noyer en profondeur sous l'anticlinal de Chéria. Sur la bordure du plateau, il affecte principalement le Turonien et ne paraît pas passer vers le haut jusqu'au calcaire du Maestrichtien. Cet empilement des structures vers la profondeur s'organise avec une réduction du rayon de courbure et au-delà d'une certaine profondeur par la formation d'une faille sur tout lorsque les niveaux deviennent compétents aux niveaux des calcaires Turonien. Vers le haut, cet accident s'amortit dans les marnes du Coniacien, du Santonien et du Campanien inférieur.

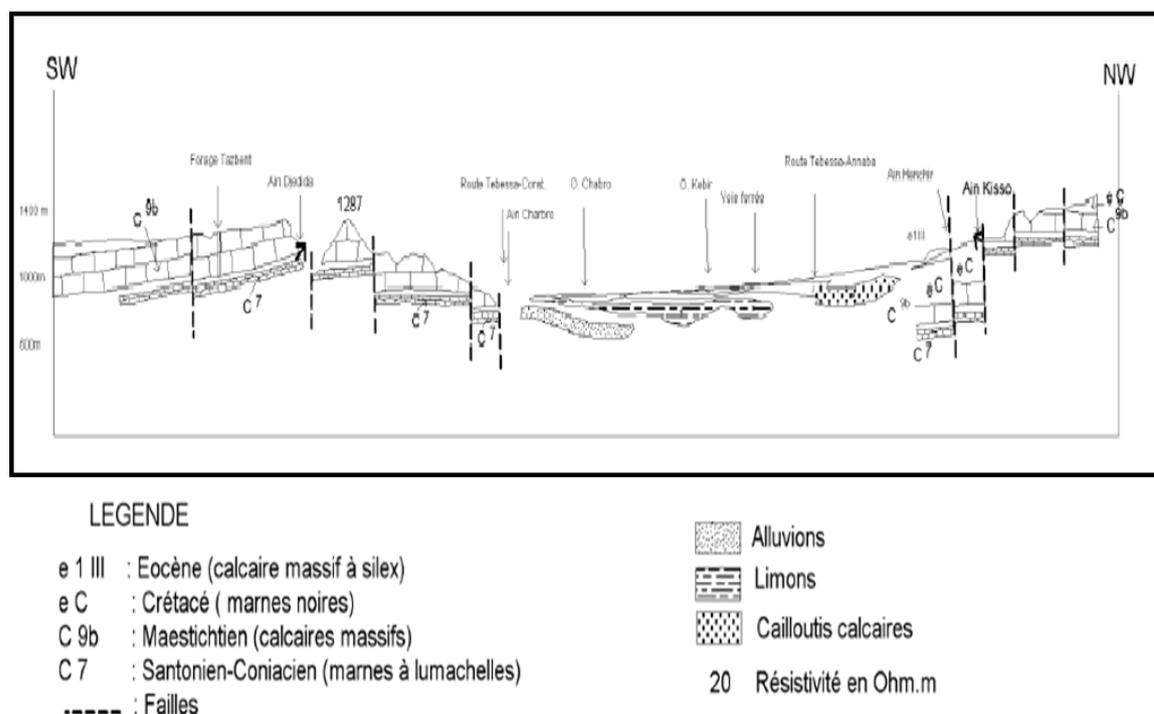


Figure –IV-5- : Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa (Djabri L.1987Latrech M., 2014).

Il est intéressant de signaler que la zone où se situe le site objet de notre étude, est située dans la limite Sud- Ouest du bassin d’effondrement de Tébessa.

IV.8- Géologie locale :

La géologie locale est basée essentiellement, sur les données recueillies des sondages carottés exécutés pour la reconnaissance géotechnique du site concerné(**figure IV-6**).

IV.8.1-Coupes géologiques du site d'étude :

Les sols constituant le site d'étude ont été soumis à une investigation géotechnique dont le but de connaître leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques, pour cela des sondages carottés ont été exécutés. Les logs de ces sondages nous ont permis de faire des corrélations entre les différentes formations et donc d'établir une coupe géologique locale. Cette coupe nous donne une idée sur la variation lithologique du sous-sol de la fondation de la cité 100/1000 logements (**figure IV-6**).



Figure – IV-7 - Localisation des sondages carottés exécuté pour le site porteur de la cité 100/1000 logement de Doukkane (photo aérienne du site pat Google Earth).

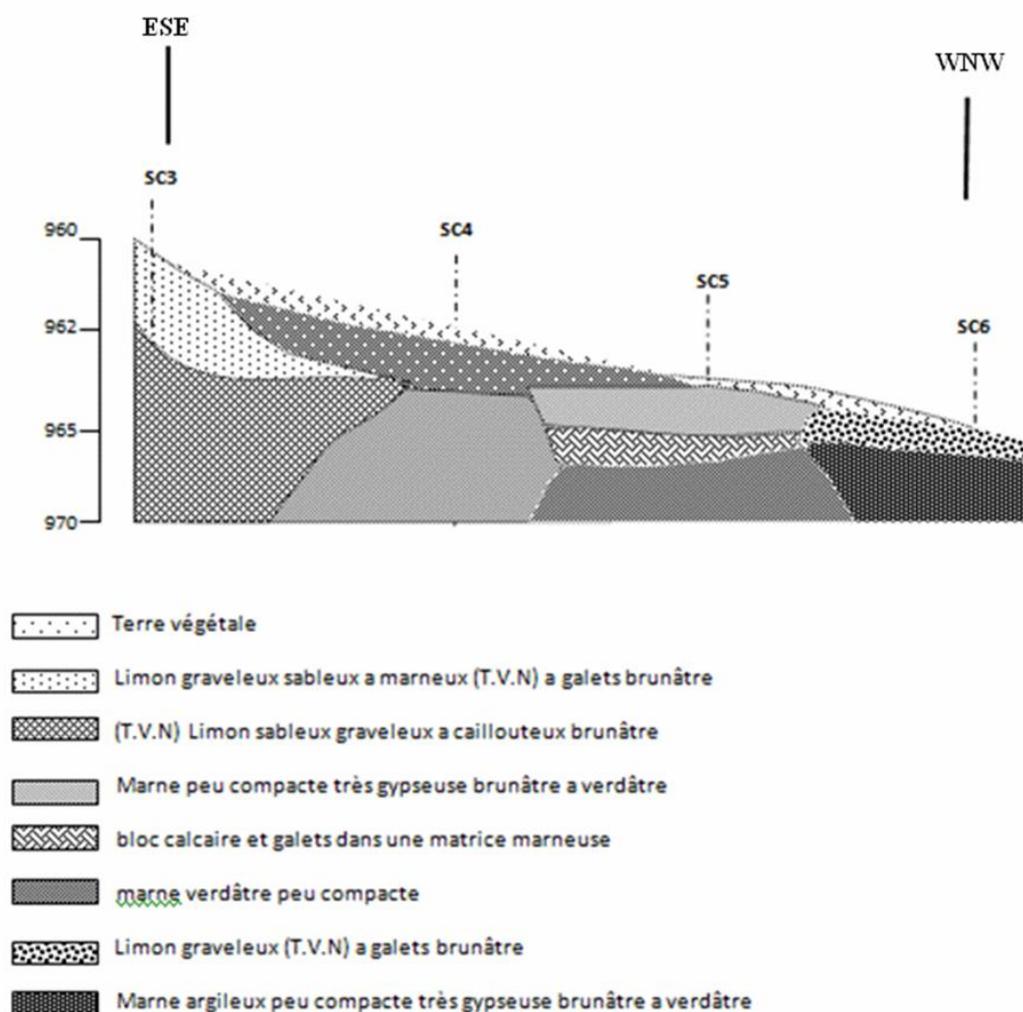


Figure – IV-8 – Coupe géologique locale reliant les sondages carottés S3, S4, S5 et S6.

IV.8.2- Interprétation de la coupe géologique:

Les coupes géologiques montrent que la nature du terrain représente une hétérogénéité, cette partie est formée en majorité par des marnes verdâtres peu compactes plastiques avec la présence des cristaux des gypses surmontées par des tufs graveleux à galets (TVN) de 1.50 mètres par endroit néanmoins est formé par une couche de tufs graveleux à galets (TVN) jusqu'à 3.30 mètres de profondeur surmontés sur des marnes verdâtres gypseuses peu compactes. D'après cette coupe faite sur la base des logs des sondages de reconnaissances exécutées sur site, on constate que la profondeur concerné par l'investigation est formée d'une lithologie très variable d'un point à l'autre. Les couches présentent un aspect lenticulaire, là où l'étendue des lentilles n'est pas connue sur la totalité du site. Parmi ces lentilles, il y'en a plusieurs pouvant être des réservoirs d'eau souterraine. Cet aspect peut engendrer des problèmes pour la future fondation : tassement différentiel, effondrement, glissement...etc

IV.9-Conditions climatique de la région :

Le phénomène de retrait-gonflement d'un sol argileux ne peut être étudié sans la prise en compte des données hydro-climatiques de la région. Dans un contexte méthodologique classique, cette partie hydro-climatique se base sur des observations ponctuelles et des mesures in situ des différents paramètres climatiques relevés sur une longue période d'observation au niveau des stations climatiques. Nous exploiterons les données climatiques issues de la station météorologique de Tébessa sur une période de 10 ans s'étalant de 2004 à 2014.

IV.9.1-Données hydro-climatiques :

La ville de Tébessa, comme toutes celles de la région des hauts plateaux de l'Algérie, se distingue par deux saisons : la saison sèche et chaude qui s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Aout, avec des précipitations presque nulles. La saison moyennement pluvieuse et froide se limite du mois de Septembre au mois de Mars, avec des précipitations plus au moins importantes. La figure 38 montre la répartition de la précipitation annuelle. Selon cette figure, le cumul de la précipitation annuelle maximale est de 596.1mm enregistré durant l'année 2004. La variation climatique due principalement à la variation de la précipitation, mais aussi à la variation de la température moyenne qui varie de 4.9 à 28.8°C, mettant les sols dans des états instables (figure 39), quant à l'humidité moyenne annuelle, elle est de 43.7% dans les périodes sèches à 82.3% dans les intervalles tempérés, qui influent à leur tour sur la partie supérieure des couches de sols argileux (figure IV-9).

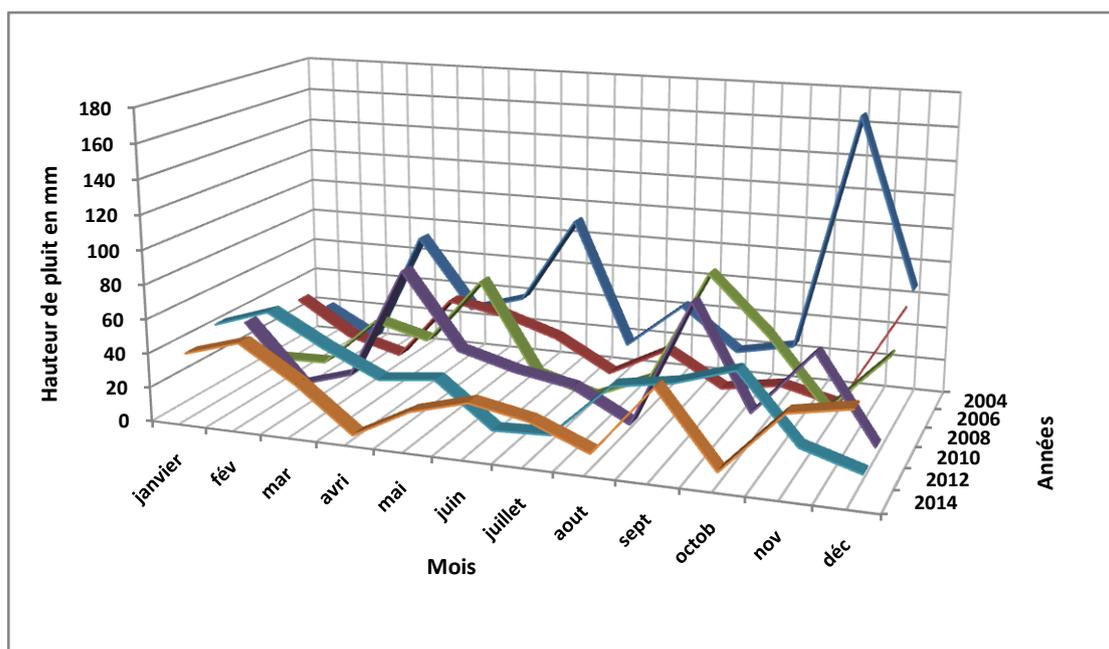


Figure –IV-9- Répartition de la précipitation annuelle à la ville de Tébessa.

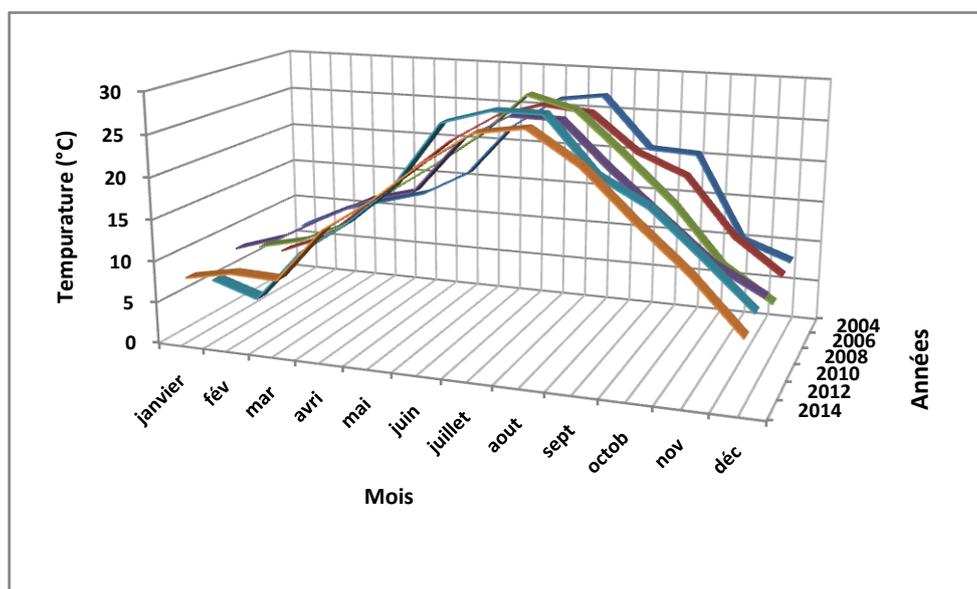


Figure –IV-10 - Répartition de la température moyenne annuelle à la ville de Tébessa.

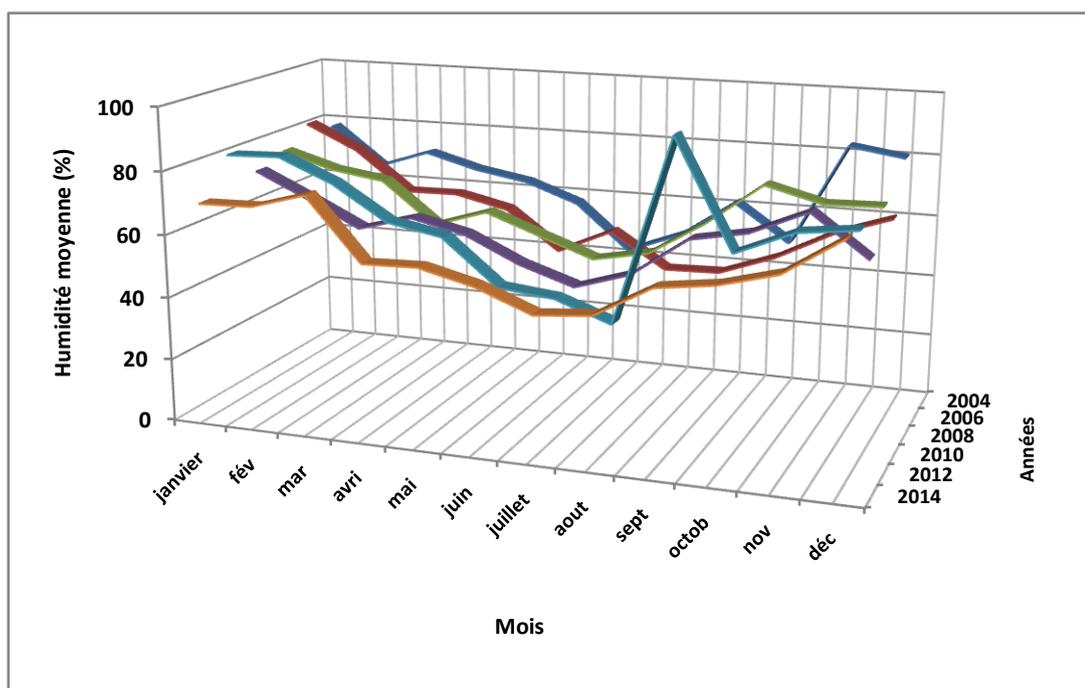


Figure –IV-11- Répartition de l’humidité moyenne annuelle à la ville de Tébessa.

IV.10 -Hydrogéologique de la région :

La plaine de Tébessa recèle trois niveaux d’eau (P1, P2 et P3), qui sont captés soit par des puits domestiques, cas du niveau P1 qui caractérise les nappes superficielles, soit par des forages pour les deux restants P2 et P3 qui sont caractéristiques des nappes plus profondes. L’observation de la carte de la figure 41 montre une surface piézométrique irrégulière, la morphologie des courbes indique un écoulement de direction Sud- Est Nord-Ouest. Elle permet également d’identifier trois secteurs distincts:

- A l’Est, c’est le secteur de Bekkaria, l’espacement des courbes est presque régulier, avec des lignes de courant de direction Est-Ouest. L’alimentation de cette zone se fait par les bordures de la plaine. Le gradient hydraulique varie entre 0.003 et 0.005
- Au niveau de la zone de Tébessa la morphologie des courbes est assez régulière, du probablement au pompage des puits et des forages. L’espacement est plus important au Nord par rapport au Sud. Les gradients hydrauliques varient de 0.005 au nord à 0.1 au sud. On remarque une certaine alimentation de la nappe par les apports des bordures calcaires situées au sud de Tébessa.
- La région d’Ain Chabro, située à l’ouest de la zone d’étude, est caractérisée par une dépression de la surface piézométrique qui reflète une zone de drainage.

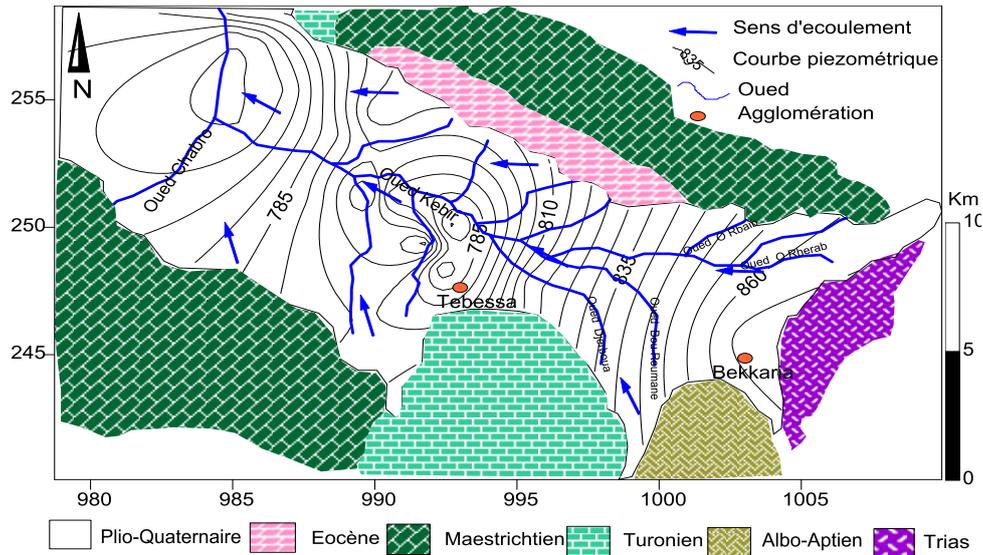


Figure –IV-12- Carte piézométrique de la Nappe de Tébessa (Fahdi et al., 2014).

Pour les structures des fondations dans la région sont en général des fondations superficielles. Ces fondations sont proches du niveau P1 des eaux souterraines. Dans ce niveau, la nappe phréatique fluctue autour de 25 à 30 m, et on peut dire quelle est près de la surface où les sols seront quasiment non saturés, ce qui va causer des dégradations des ouvrages et des structures routières. Le phénomène de retrait sera fréquent surtout en période sèche, à l'inverse le gonflement peut avoir lieu en période humide.

IV.11- Investigation géotechnique du site :

Dans notre cas d'étude on a exploité les données des sondages réalisés par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (L.T.P.E). Ce dernier a effectué les travaux d'expertise géotechnique du terrain servant l'assiette de la construction de 100/1000 logements LPL au niveau de Doukane, wilaya de TEBESSA. Le plan de masse ainsi que la répartition des sondages carottés de cette cité sont présentés par la **figure –IV-13** .

Le L.T.P.EST, a réalisé six sondages de dix (10.00) mètres de profondeur(**Annexe 1**), à l'aide d'une sondeuse hydraulique TEREDO N°2, en vue d'établir la nature géologique de l'assiette. Et aussi de pouvoir disposer d'une quantité suffisante d'échantillons remaniés et paraffinés (intact) pour la réalisation des essais au laboratoire. Les échantillons récupérés ont été soumis aux essais physiques, mécaniques et chimiques, les résultats de tous les essais sont regroupés au **tableau IV-01-a et IV-01-b**.

Sur la base des données de l'investigation réalisée par le LTP Est, nous avons essayé de faire une classification des sols investigués vis-à-vis du phénomène de gonflement, et ceci en appliquant les méthodes cité au chapitre 2.

Tableau –IV-01-a- Résultats des essais de laboratoire pour les sondages S1, S2 S3 et S4

SONDAGE N°		01	02	03		04	
Profondeur	m	0.80-10.00	0.50-8.00	0.50-1.50	1.50-10.00	0.40-3.30	3.30-10.00
DENSITE SECHE γ_d t/m ³		1.73	1.72	/	1.62	/	1.72
TENEUR EN EAU w%		17.9	18.5	/	19.9	/	20.8
DENSITÉ HUMIDE γ_h t/m ³		2.02	1.99	/	1.93	/	2.05
DEGRÉ DE SATURATION SR %		83	82	/	81	/	98
ANALYSE GRANULOMETRIQUE	2mm	98	68	7.75	70.5	45.5	76..5
	0.080mm	94	55	5.83	65.6	23	64
	<0.002 μ m	51.06	83.64		62.5		65.63
Équivalent de sable	Es%	/	/	15			
LIMITES D'ATTERBERG	WL%	69	66	/	64	/	63
	IP%	48	46	/	41	/	42
Valeur au bleu de méthylène	VB	6.03	5.28	/	6.25	/	6.14
ESSAI DE CISAILLEMENT	C bars		3.232	/	3.45	/	3.98
	Ø degré		27	/	19	/	13
ESSAI ŒDOMÉTRIQUE	Pc Kg/Cm ³	2.075	0.605	/	0.705	/	0.955
	Ct	0.216	0.275	/	0.203	/	0.172
	Cg	0.032	0.066	/	0.072	/	0.072
	Pg Kg/Cm ²	7.10	3.10	/	6.10	/	7.10
ANALYSES CHIMIQUES	Insolubles	49.00	51.88	/	59.04	/	54.24
	Carbonates	35.65	40.00	/	35.65	/	26..96
	Gypse	12.15	6.12	/	2.27	/	15.92
	SULFATE	67758.12	34130.02	/	12659.34	/	88782.66
	Degré d'agressivité	Très forte	Très forte	/	Forte	/	Très forte

Tableau –IV-1-b- Résultats des essais de laboratoire pour les sondages S5 et S6.

SONDAGE N°		05			06	
Profondeur m		0.30-4.40	4.40-6.80	6.80-10.00	0.50-1.50	1.50-10.00
DENSITE SECHE γ_d t/m ³		1.78	/	1.87	/	1.76
TENEUR EN EAU w%		18.6	/	12.3	/	17.5
DENSITÉ HUMIDE γ_h t/m ³		2.02	/	2.12	/	2.07
DEGRÉ DE SATURATION SR %		85	/	89	/	88
ANALYSE GRANULOMETRIQUE	2mm	88.5	64.5	98	39.92	82
	0.080mm	84	43.2	94	31.07	80
	<0.002 μ m	54.76				58.75
Équivalent de sable	Es%	3.1				
LIMITES D'ATTERBERG	WL%	61				60
	IP%	46				47
Valeur au bleu de méthylène	VB	6.09				6.06
ESSAI DE CISAILLEMENT	C bars	Sols feuilletés et remaniés				3.81
	Ø degré					12
ESSAI ŒDOMÉTRIQUE	Pc Kg/Cm ³					0.485
	Ct					0.233
	Cg					0.089
	Pg Kg/Cm ²					7.20
ANALYSES CHIMIQUES	Insolubles					50.88
	Carbonates	37.00	39.13	/	/	20.00
	Gypse	12.15	3.82	/	/	20.34
	SULFATE	67758.12	21303.38	/	/	113432.80
	Degré d'agressivité	Très forte	Très forte	/	/	Très forte

Remarque : on constate bien que vu le caractère remanié et feuilleté de certains échantillons, les essais mécaniques n'ont pu être réalisés.

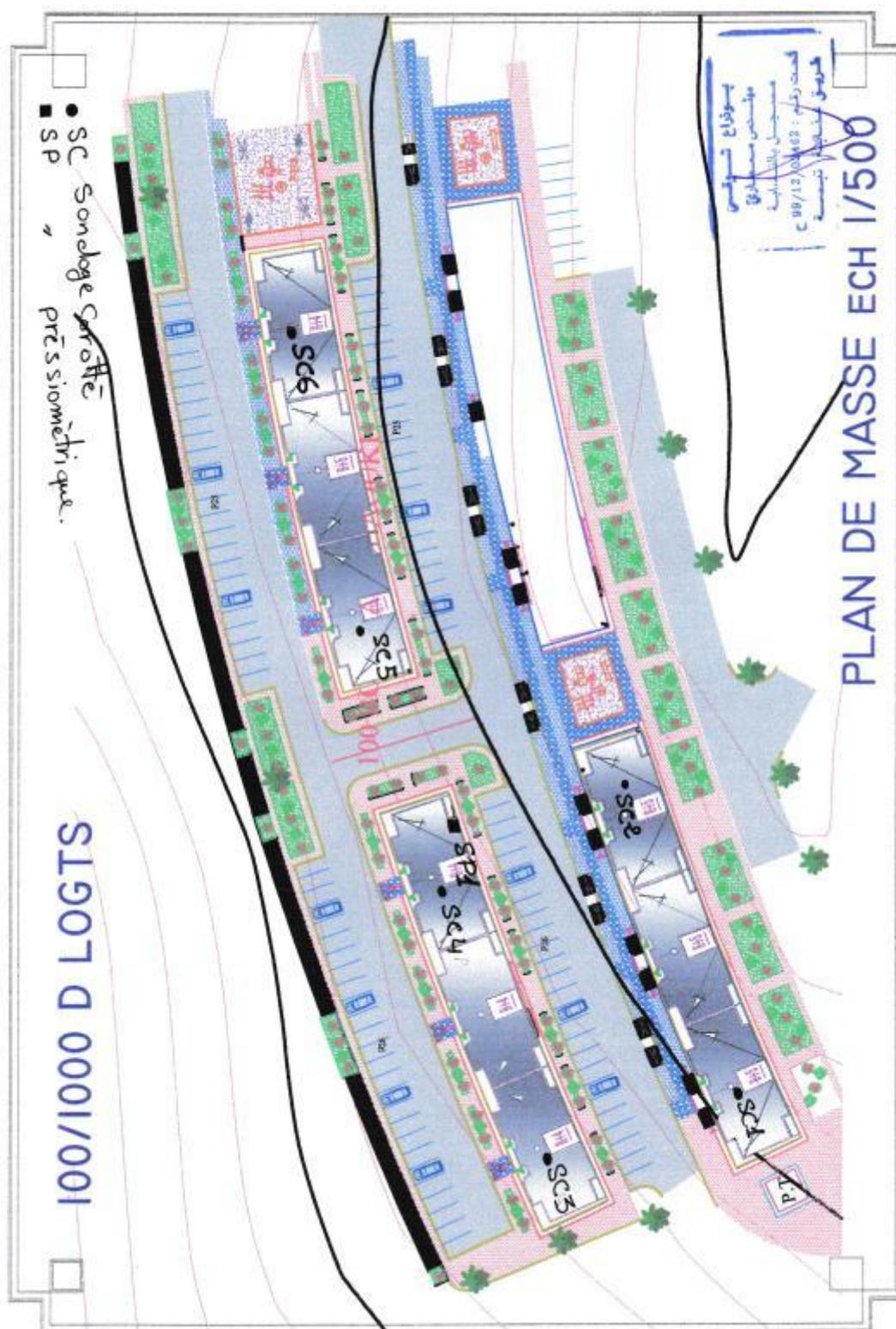


Figure –IV-13- Schéma d’implantations des points de sondage (LTP Est, 2013).

IV.12. Présentation des résultats et interprétation :

Plusieurs recherches ultérieures sur les sols gonflants, ont aboutis à des méthodes de caractérisation du phénomène (Seed et al., (1962) ; David et Komornik (1969) ; Ejaouaani,(2008)), en fonction des données dont nous nous disposons, certaines de ces méthodes nous ont servis de support pour classier les sols objet de notre étude vis-à-vis du phénomène de gonflement. Les résultats et les discussions sont représentés dans ce qui suit.

IV.12.1.Méthode de Seed et Al. (1962) :

Concernant l'activité des sols et leur contenu en fraction argileuse, l'indice de plasticité, avec la teneur en argile ont été employés par Seed et al. en (1962), dans leurs études extensives concernant les caractéristiques de gonflement des argiles compactes. Ces auteurs, ont développé un abaque de classification du potentiel de gonflement (en %), l'abaque utilise la teneur en argile (J)du sol en abscisse et l'activité (A) du sol en ordonnées, sachant que l'activité des sols a été définie par Skempton en 1953 comme étant le rapport de l'indice de plasticité au pourcentage de la teneur en argile : $A = \frac{Ip}{J}$

Cette classification est pour d'autant utilisée dans plusieurs recherches sur la prévision du gonflement des sols (Yeliz Yukselen, Abidin Kaya, 2008 ; Türköz et Tosun, 2011 ; Hashim et Suleman, 2012). Pour notre cas d'étude, d'après la classification de Seed et al. (1962), on constate que les sols de fondation du site étudié sont situés dans le domaine de gonflement élevé (figure IV-14).

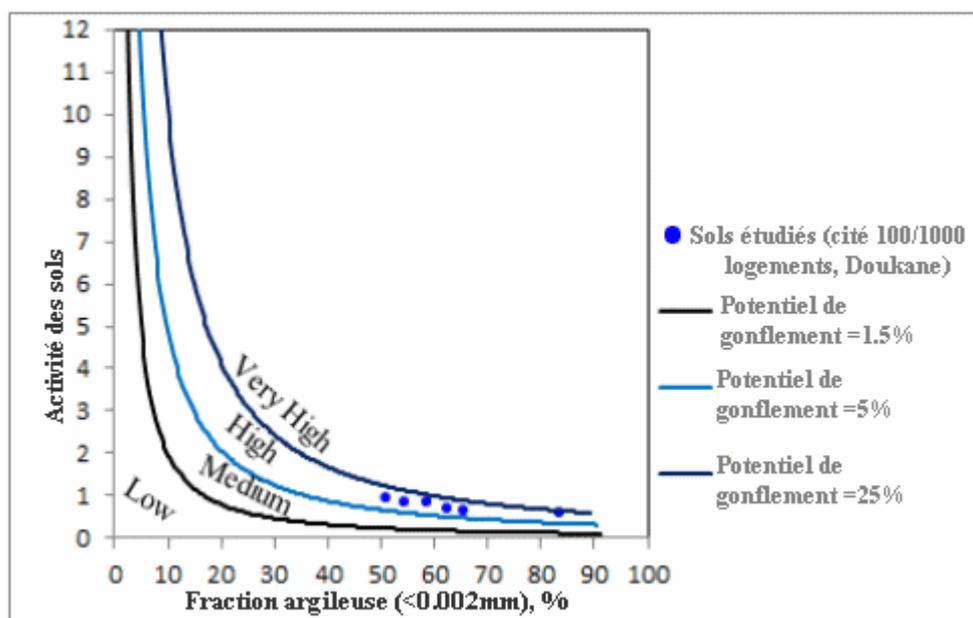


Figure – IV-14- Classification proposée par Seed et al. (1962), appliquée pour les sols étudiés (cas d'étude : cité 100/1000 logement de Doukane).

D'autre part, la relation établie par Seed et al. (1962), entre le taux de gonflement libre ε_g et l'indice de plasticité I_p (tableau IV-2-a) donne une estimation du potentiel de gonflement. Pour notre cas d'étude, cette relation est appliquée pour trois échantillons (sondages), d'après cette relation et d'après l'intervalle de variation de l'indice de plasticité des sols étudiés, le **tableau IV-2-b** montre aussi un potentiel de gonflement élevé pour les sols en question.

Tableau – IV-2- a - Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al., 1962).

I_p	ε_g (%)	Potentiel de gonflement
0 - 10	0 - 1,5	Faible
10 - 20	1,5 – 5	Moyen
20 – 35	5 – 25	Elevé
>35	>25	Très élevé

Tableau –IV-2-b - Classification des sols étudiés d'après la relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité établie par de Seed et al. (1962).

Sondage	Profondeur(m)	I_p (%)	ε_g (%)	Potentiel de gonflement
S1	0.80– 10.00m	48	5.83	Elevé
S2	0.50 –8m.00	46	5.30	Elevé
S3	1.50 - 10.00m	42	5.28	Elevé

IV.12.2.Méthode de Chen (1988) :

La méthode de Chen (1988), qui prend en considération le pourcentage des grains inférieur à $74\mu\text{m}$ ($\% < 74\mu\text{m}$) et la limite de liquidité (WL) consiste à ce que WL doit être $> 60\%$ et le pourcentage des grains $< 74\mu\text{m}$ doit être supérieur à 50% . Dans le tableau IV-3, les résultats des sols classifiés selon la méthode de Chen (1988), montrent que ces sols ont un potentiel de gonflement élevé.

Tableau –IV-3- Potentiel de gonflement d'après Chen (1988).

Sondages	Profondeurs (m)	$\% < 74\mu\text{m}$	WL%	Potentiel de gonflement
S1	0.80-10.00	94	69	Elevé
S2	0.50-8.00	55	66	Elevé
S3	1.50-10.00	65	64	Elevé
S4	3.30-10.00	64	63	Elevé
S5	0.30-4.40	84	61	Elevé
S6	1.50-10.00	82	60	Elevé

IV.12.3-Méthode de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; Komornik et David (1969):

Les auteurs cités ci-dessus, ont utilisé l’abaque de plasticité de Casagrande pour classier les sols, question de leurs recherches, vis-à-vis de la plasticité. Dans cet abaque, la ligne "A", définie par Casagrande en 1948 dans le diagramme de plasticité et d’équation $I_p=0.73 (W_l - 20)$, sépare les sols inorganiques (au-dessus de la ligne "A") des sols organiques (en dessous de la ligne "A") (Figure IV-15), on constate que, comme indiqué sur la figure 44 Par comparaison aux résultats de Vijayvergia et Ghazzaly ainsi que ceux de David et Komornik (1969), on constate que les sols étudiés se situent au-dessus de la ligne A, d’après les domaines de plasticité de Casagrande, ces sols sont dans le domaine de plasticité élevé avec un indice de plasticité variant de 41% à 47%(tableau IV-01-a et IV-1-b).

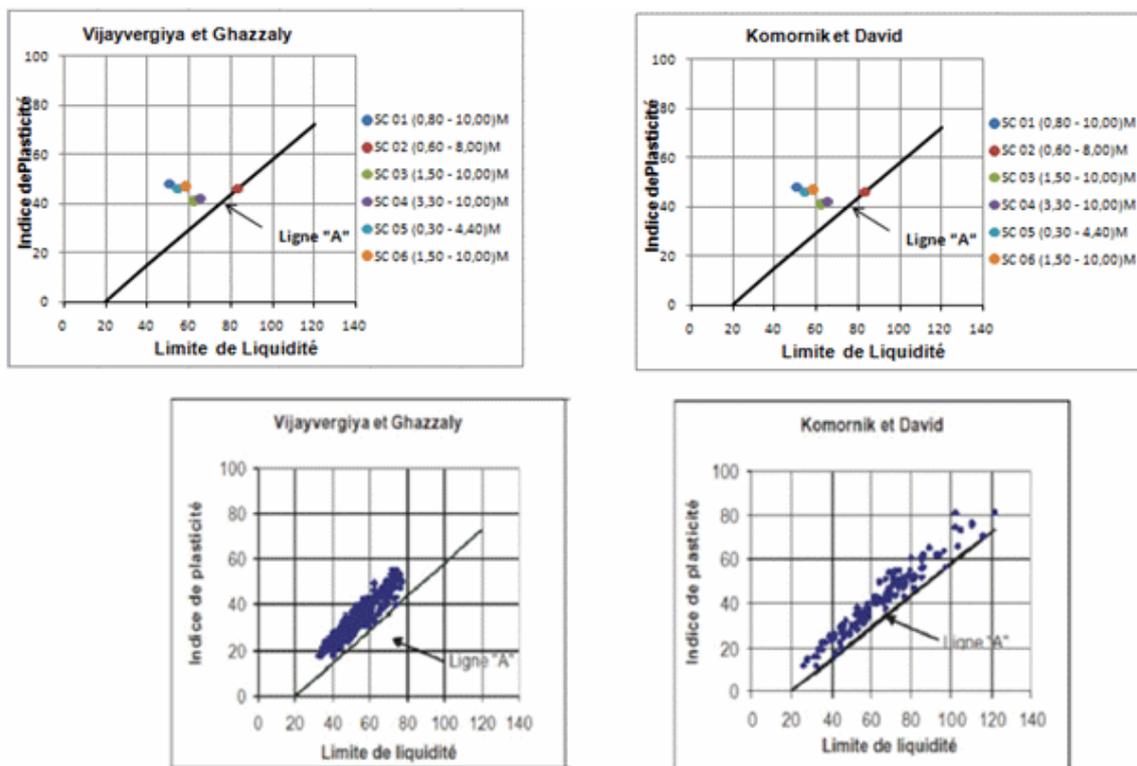


Figure –IV-15- Classification des sols gonflants d’après Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) ; David et Komornik (1969).

IV.12.4-Méthode de Van der Merve(1964),Williams et Donaldson(1980) :

Support de la méthode de caractérisation proposé par Seed et al. (1962) et appliqué pour notre cas d’étude, peut aussi résulter de l’étude de la classification des sols gonflants proposée par Van der Merve (1964)et appliquée aussi par Williams et Donaldson en1980(Ejaouaani, 2008). Cette méthode associe l’indice de plasticité à la teneur en argile des sols. Se basant sur ce modèle, une projection des données, dans notre cas d’étude, a montré que les sols de fondation de la cité 100/1000 logements de Doukane sont situé dans le domaine de gonflement élevé (**figure IV-16**).

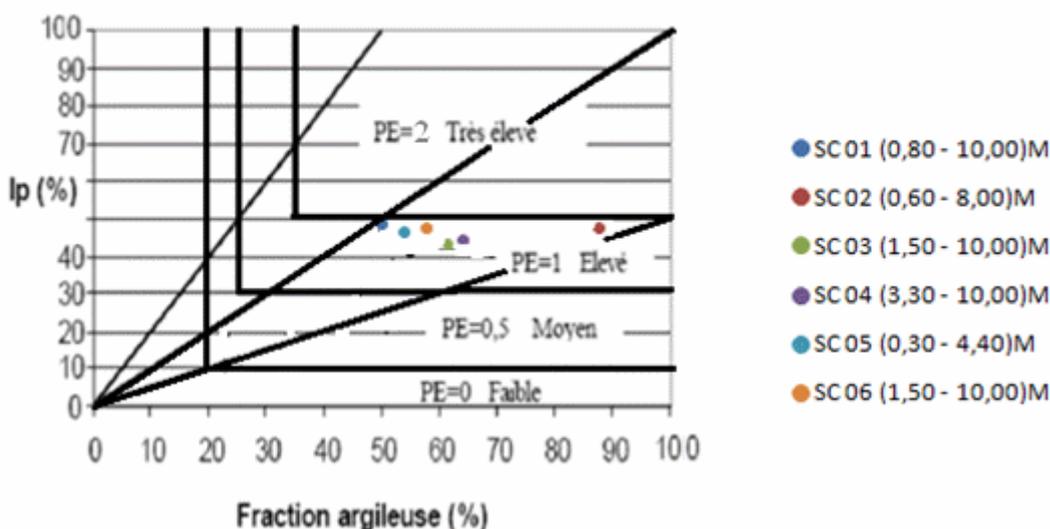


Figure –IV-16- Classification proposée par Van der Merve (1964) ; Williams et Donaldson en (1980) .

IV.12.5-Méthode de Dakshanamurthy et Raman(1973) :

Dakshanamurthy et Raman (1973) se sont aussi inspirés du diagramme de plasticité proposé par Casagrande (1948) pour fournir une classification du niveau de gonflement. Dakshanamurthy et Raman (1973), ont montré la variation de l'effet de gonflement en fonction d'IP (indice de plasticité) et de Wl (limite de liquidité). D'après les valeurs de la limite de liquidité, Dakshanamurthy et Raman (1973), ont suggéré six (6) domaines pour le potentiel de gonflement. Parmi ces domaines, ceux de potentiels élevé, très élevé et extrêmement élevé, sont caractérisés par des limites de liquidité supérieures à 50 % (Figure IV-17) (Dakshanamurthy et Raman, 1973 ; Holtz, 1981 ; Chen, 1987). Selon la projection des résultats obtenus pour notre cas d'étude sur l'abaque de la figure IV-17, les sols étudiés se situent dans le domaine de gonflement élevé. Se référant au même abaque, l'indice de plasticité a été trouvé élevé à très élevé, pareil résultat d'analyse de sol, exprime son affinité à l'eau traduisant par conséquent son aptitude au gonflement.

De tels résultats, restent aussi un bon indicateur sur la possibilité de présence de grand pourcentage de minéraux argileux ayant le pouvoir d'absorption élevé. Il paraît donc possible que la dominance de montmorillonite (par exemple) parmi cette fraction argileuse constituant les sols est éventuelle (Seed et al., 1962 ; Dakshanamurthy et Raman, 1973 ; McCormack et Wilding, 1975; Ross, 1978 ; Skempton, 1984 ; Al'Rawas, 1999 ; Thomas, 2000 ; Fekerte AregaYitagesu, 2012). Plusieurs études ultérieures ont aussi supporté l'importance des limites d'Atterberg (Indice de plasticité et limite de liquidité) pour l'indication des sols gonflants. Donc pour le cas d'étude, logiquement, un gonflement élevé doit être corrélativement prévu. En générale, lors des études géotechniques poussées et pour une bonne prédiction, des analyses chimiques et minéralogiques son indispensable pour confirmer en cas de doute, la présence de minéraux actifs dans le sol.

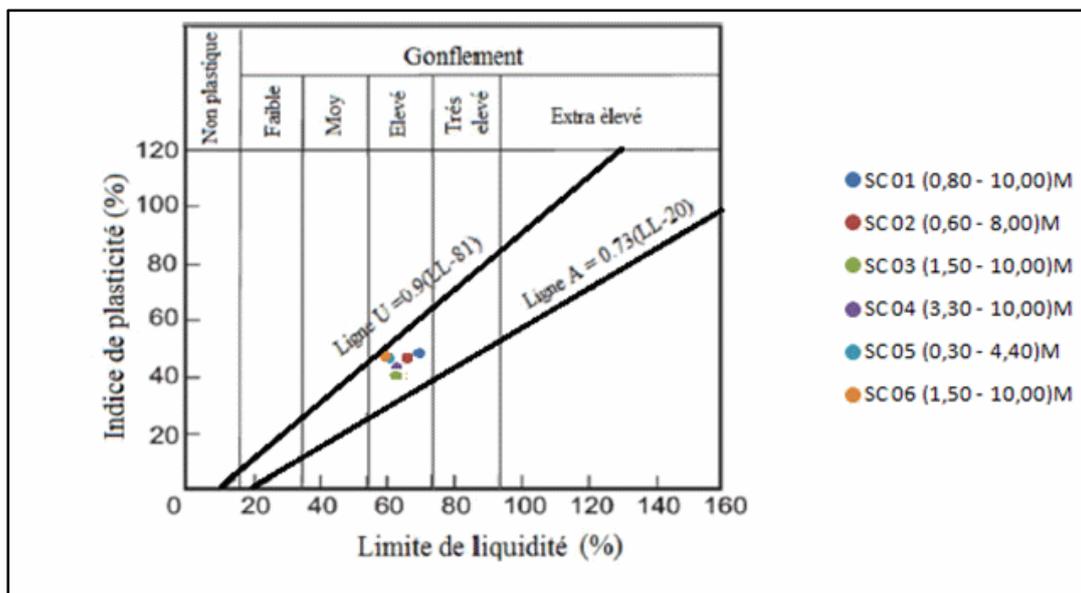


Figure –IV-17- Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman, (1973) appliquée pour le cas d'étude.

IV.12.6-Classification à partir de la valeur de bleu de méthylène VB :

Pour mettre en évidence l'activité des sols étudiés, l'essai au bleu de méthylène nous a bien servis pour cet état. Les valeurs de bleu de méthylène (VB) obtenues varient entre 5.28 et 6.25 (tableau -1b- et 1b). Ces valeurs correspondent à des sols dont l'activité est élevée à très élevée. Se référant à ces valeurs de bleu de méthylène(VB), plusieurs études ont utilisé cette caractéristique pour évaluer l'activité des sols argileux, en remplacement ou en complément des limites d'Atterberg (Lautrin, 1987 ; Beaulieu,1979 ; TranNgoc Lan, 1980 ; Kergoët et Cimpelli, 1980 ; Cinot et Guillbaud, 1982 ; Magnan et Youssefian, 1989 ; Yeliz Yukselen et Abidin Kaya, 2008 ; Türköz et Tosan, 2011, Aoun M.,2016).

Du point de vue réalisation et équipement au laboratoire, l'essai au bleu de méthylène est très simple. A cet effet, Yeliz Yukselen et Abidin Kaya (2008) ont montré que cette caractéristiques très simple du sol peut donner des prédictions pouvant être précises pour le cas de plusieurs indices du sol, telle que la surface spécifique (SS) externe et interne du sol pouvant être déterminé à partir du VB adsorbé. Yeliz Yukselen et Abidin Kaya (2008) ont montré aussi qu'une contribution de VB pour la détermination de la granulométrie est possible (Aoun, 2016). Ces auteurs trouvent que la surface spécifique mesurée par la VB des particules de diamètre 0.425 mm est presque la même que celle des particules de diamètre 0.075 mm (Aoun, 2016). Le VB a été aussi employé pour le calcul de l'indice et du potentiel de gonflement avec précision et d'une manière économique. Dans une corrélation établie par Yeliz Yukselen et Abidin Kaya (2008), entre les différentes valeurs du VBM, une classification pour le degré de gonflement a été établie (Tableau 8). Dans notre cas d'étude, cette classification, montre que les sols de fondation réservé à la cité100/1000 logements, sont caractérisés par un degré de gonflement moyen (Tableau IV-4).

Tableau-IV-4- Les résultats de VB (g/100 g) / au degré de gonflement réalisés par Yeliz Yukselen, Abidin Kaya (2008)

Valeur du bleu de méthylène (g/100g)	Degré de gonflement
0-4	Faible
4-8	Moyen
8-15	Elevé
>15	Très élevé

Tableau-IV-5- Classification du degré de gonflement pour les sols étudiés d'après Yeliz Yukselen, Abidin Kaya (2008)

Sondage	Profondeur	Valeur du bleu de méthylène (g/100g)	Degré de gonflement
S1	0.80-10.00	6.03	Moyen
S2	0.50-8.00	5.28	Moyen
S3	1.50-10.00	6.25	Moyen
S4	3.30-10.00	6.14	Moyen
S5	0.30-4.40	6.09	Moyen
S6	1.50-10.00	6.06	Moyen

IV.12.7-Classification à partir des valeurs de la densité sèche γ_d :

La densité sèche des sols peut être considérée comme une caractéristique physique importante pour la prévision du potentiel de gonflement ainsi que la pression de gonflement (David et Komormik, 1969, Vijayvergia et Ghazzaly, 1973). La densité sèche γ_d est aussi l'une des caractéristiques du sol ayant son influence sur les paramètres de gonflement du sol (Aoun, 2016). De nombreux résultats confirment cette influence. En prenant en considération la densité sèche du sol, les travaux de Nowamooz (2007) et d'El Sohby (1981) sur des sols naturels et traités, ont montré que le sol le plus dense exhibe le gonflement le plus élevé (Aoun, 2016). Pour l'étude du comportement hydromécanique des sols non saturés, Vilar (1995) dans son étude sur un sol plastique (IP = 35%) gonflant faiblement soumis à des cycles de séchage-humidification déduit que ce sol manifeste un effondrement pendant le premier séchage et puis un gonflement à la phase d'humidification. Ce gonflement peut être expliqué par l'augmentation de la densité sèche causée par l'effondrement pendant le séchage (Alshihabi, 2002 in Aoun, 2016)). Pour notre cas d'étude, les valeurs reflètent généralement un état de densité élevée des sols avec un intervalle de variation de γ_d entre 1.62 à 1.82 t/m³ (Tableau IV-1-a et IV-1-b).

Tableau –IV-5-Tableau récapitulatif de différentes méthodes de classification.

Méthode	Modèle et paramètres	Classification
Méthode de seed et AL (1962)	Abaque : activité des sols et fraction argileuse	Elevé
Méthode de Vijayvergiya et Ghazzaly (1973)	Diagramme de plasticité de Casagrande (1948) : Ip et Wl	Elevé
Méthode de Cheen (1988)	Selon la fraction argileuse et limite de liquidité	Elevé
Méthode Van der Merve (1964) ; Williams et Donaldson en (1980)	Abaque : fraction argileuse et de l'indice de plasticité	Elevé
Méthode de DaKshanamurthy et Raman (1973)	Diagramme de plasticité de Casagrande (1948) modifié : Ip et Wl	Elevé
YelizYukselen, Abidin Kaya (2008)	D'après la valeur de VB	Moyen
Densité sèche	Intervalle de variation de γ_d	Elevé

D'après les classifications que nous avons effectuées sur la base des différentes méthodes citées ultérieurement, on constate que le gonflement des sols est prévu comme élevé. Les essais mécaniques à l'œdomètre qui ont été effectués au laboratoire LTP Est, montre des valeurs très élevées de la pression de gonflement P_g . ces valeurs varient entre 3.10 et 7.20 Kg/Cm²(tableau1a IV-1-a et IV-1-b). Les essais ont été effectués pour déterminer le gonflement libre (Annexe 2).

Dans le cas des sols moyennement à fortement gonflants, l'essai de gonflement libre peut entraîner une modification de structure pendant le gonflement avant le retour à une déformation nulle. C'est pourquoi il a tendance à surestimer la pression de gonflement (Bultel, 2001 ; Cuisinier, 2002 ; Aoun, 2016).

Comme critique pour ces valeurs, elles sont surestimées et nous laissent penser à leur fiabilité pour le dimensionnement des fondations, et comme recommandations d'autres méthodes pour la détermination de la pression de gonflement au laboratoire.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons procédé à la caractérisation géotechnique des sols étudiés (cité 100/1000 logement Doukane, Tébessa, Nord- Est Algérien), et ce vis-à-vis du problème de gonflement et de retrait. Pour cette caractérisation, nous avons utilisé les données géotechniques des sols (paramètres physiques et mécaniques) dont les essais sont réalisés au laboratoire LTP Est (unité de Tébessa). A l'aide de ces paramètres, des méthodes de classification ont été appliqués. L'utilisation des résultats des essais au laboratoire a montré que les paramètres de gonflement sont en générale entre moyens à élevés. Les résultats de la pression de gonflement libre déterminer au laboratoire son surestimés.

L'estimation rapide du gonflement à l'aide des paramètres physiques et mécaniques et certainement nécessaire surtout pour les étapes préliminaires de la reconnaissance géotechnique, mais les résultats des essais au laboratoire reste une étape très importante afin de caractériser l'étude de cas est pour cette raison il faut effectuer les essais conformément aux normes en vigueur, sinon la classification est jugée inutile.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses est lié à des processus physicochimiques et hydriques complexes. L'hydratation ou la déshydratation des particules argileuses conduit à des variations de volume à un niveau macroscopique et dont les conséquences peuvent être néfastes sur les superstructures. A cet effet, il est important de comprendre ce phénomène, obtenir les outils qui permettent de l'identifier et de le quantifier de manière rapide surtout en phase préliminaire des reconnaissances, ceci peut aider à l'orientation des travaux des autres étapes d'un projet, et ainsi de réduire les risques d'apparition des désordres au futur. A cet effet, une connaissance minimale sur la structure élémentaire des principales familles argileuses ainsi que sur les différentes possibilités d'arrangements est indispensable. La difficulté réside dans la définition des paramètres représentant le phénomène de gonflement et par la suite caractériser les sols gonflants censés supporter la fondation. Pour cette raison, la caractérisation des paramètres de gonflement est très nécessaire.

Le présent travail s'accroît d'une manière précise sur les méthodes de caractérisation des paramètres de gonflement pour les sols de fondation de la cité 100/1000 logements à Doukane (Tébessa, Nord- Est de l'Algérie), ces méthodes sont soit indirectes soit direct. Pour aboutir à notre objectif, une organisation du travail été subdivisée en quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une succincte recherche bibliographique, dans laquelle, nous avons donné un aperçu sur : les sols gonflant, le mécanisme du phénomène de gonflement au niveau de ces sols, et les facteurs gérants ce phénomène. Les méthodes indirectes et les méthodes directes de la caractérisation du phénomène, sont exposées dans le deuxième chapitre, de ces méthodes nous avons choisis certaines dont nous avons appliqué pour le cas d'étude. Notre choix est fait en fonction des données dont nous nous disposons.

Quant au troisième chapitre, nous avons préféré de le consacrer à un simple aperçu pathologique dans lequel nous avons énumérés les causes et les conséquences du gonflement, la nature et la manifestation du gonflement, les facteurs influençant l'apparition du gonflement et les éléments intervenant au gonflement. En fin, des exemples sur les types de manifestation des désordres sont donnés.

Dans le quatrième chapitre, nous avons exposé les conditions générales de la région d'étude. A partir de ces conditions, nous avons tiré d'importantes conclusions :

Sur le plan géologique les sols de fondation sont formés par des couches présentant un aspect lenticulaire, là où l'étendue des lentilles n'est pas connue sur la totalité du site. Parmi ces lentilles, il y'en a sols plastiques (marnes verdâtres peu compactes à présence de gypse) ; plusieurs autre lentilles pouvant être des réservoirs d'eau (tufs graveleux à galets). Cet aspect peut engendrer des problèmes pour la fondation au futur : tassement différentiel, effondrement, glissement...etc ;

La variation climatique des paramètres climatiques met les sols dans des états instables et aussi influe sur la partie supérieure des couches de sols argileux (dessiccation) surtout en période sèche de l'année. Pour les structures des fondations dans la région, elles sont en général des fondations superficielles.

CONCLUSION GENERALE

Ces fondations sont proches du niveau supérieur (P1) des eaux souterraines là où la nappe phréatique est près de la surface où les sols seront quasiment non saturés, ce qui va causer des dégradations des ouvrages et des structures routières. Le phénomène de retrait sera fréquent surtout en période sèche, à l'inverse le gonflement peut avoir lieu en période humide.

Pour ce qui est de la caractérisation géotechnique des sols de fondation du site concerné par notre étude, une partie du quatrième chapitre a été réservé à l'application des méthodes indirectes choisies. Pour ceci nous avons utilisé les données géotechniques (paramètres physiques et mécaniques des sols) dont les essais sont réalisés au laboratoire LTP Est (unité de Tébessa). L'utilisation des résultats des essais au laboratoire a montré que les paramètres de gonflement sont en générale entre moyens à élevés. Les résultats de la pression de gonflement libre déterminer au laboratoire son surestimés indiquant un gonflement très élevé. Cependant, au laboratoire LTP Est, la méthode directe à réaliser doit être remplacée par une autre plus fiable.

Nous concluons alors, que l'estimation rapide du gonflement à l'aide des paramètres physiques et mécaniques et certainement nécessaire surtout pour les étapes préliminaires de la reconnaissance géotechnique, mais les résultats des essais au laboratoire (méthode directe) reste utile à condition de les effectuer conformément aux normes prescrites.

Une fois le gonflement du sol pressenti et ses paramètres mesurés, des solutions peuvent être préconisées. Il s'agira entre autres des recommandations cité ci-dessous.

Recommandations :

Les recommandations que nous proposons sont en générale inspirées des solutions déjà appliqué à l'échelle internationale, et des études ultérieures dont nous avons consultés. Ces recommandations doivent être appliquées dans les limites de possible du projet en générale. Elles consistent à :

- Adopter une profondeur d'ancrage suffisante, à adapter en fonction de la sensibilité du site au Phénomène.
- Eviter toute dissymétrie dans la profondeur d'ancrage.
- Préférer les fondations continues et armé, bétonnées à pleine fouille sur toute leur hauteur.
- adopter des dispositions constructives qui permettraient de limiter les variations de la teneur en eau du sol ;
- rigidification de la structure de la construction (l'ingénierie civil est riche en méthodes ed rigidification tel que chaînages horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle) pour les murs porteurs liaisonnés... etc.) ;
- réalisation d'une ceinture étanche autour du bâtiment protégeant ainsi sa périphérie immédiate de l'évaporation et éloignant du pied des façades les eaux de ruissellement ;

CONCLUSION GENERALE

- éloignement de la végétation de la construction et création d'un écran anti-racines pour minimiser la capacité d'évaporation des arbres, ceci réduire les prélèvements en eau dans le sol;
- raccordement des réseaux d'eaux au réseau collectif pour éviter les puits perdus en cas d'assainissement autonome ;
- garantir l'étanchéité des canalisations enterrées pour limiter l'impact des fuites occasionnées, en cas de rupture,
- concevoir une structure adaptée pour résister aux efforts induits par le phénomène ;
- intervenir sur le sol pour que ce dernier soit insensible à son hydratation ou à sa déshydratation en le stabilisant par la chaux par exemple ;etc.

Comme nous remarquons, les méthodes de lutter contre le phénomène de gonflement sont nombreuses. Il y'en celle qu'on peut les faire intervenir au stade de dimensionnement de la fondation et d'autre qu'on peut les adapter après la mise en place de la fondation.

LES REFERENCES

LES REFERENCES

- ❖ AL-MUKHTAR. M, BELANTEUR. N, TESSIER. D, ET VANAPALLI S.K, (1996) .
The fabric of a clay soil under controlled mechanical and hydraulic stress states".
- ❖ Alshihabi O., (2002), Etude en laboratoire du comportement d'un sol compacte non saturé, influence des cycles de séchage-humidification.
- ❖ Aoun Mounira,(2015) : Caractérisation minéralogique , physique et cartographie des sols gonflant dans le bassin de Tébessa , Impact sur le plan d'aménagement.
- ❖ Beaulieu J. (1979), Identification géotechnique des matériaux argileux naturels par la mesure de leur surface au moyen du bleu de méthylène, *Thèse de doctorat de 3e cycle*, Univ. De Paris-Sud, Orsay, 133p.
- ❖ Benaissa Mohamed (2011) " étude expérimentale sur la stabilisation des sols gonflants de la région de Mostaganem et de Relizane.
- ❖ Benmesaoud ahmed (2016-2017) " types de solution de construction sur sols gonflants".
- ❖ Boucly-Norotte, V. (1991). Évolution des caractéristiques mécaniques et de la perméabilité de matériaux argileux sous l'effet de sollicitations thermiques .
- ❖ Bouzid. F (1997). « Étude de l'aspect physico-chimique des caractéristiques mécaniques d'une argile gonflante: Bentonite.
- ❖ Bultel, F., (2001), Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels.
- ❖ Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils.
- ❖ Chen, C.C., & Morey, R. V. (1989). Comparaison of four EMC/ERH équations. Transactions of the ASAE, 32(3), 983-990
- ❖ Chen.E.H (1988). «Foundations on expansive soils» , 464 pages.
- ❖ Cinot J.-C. et Gaillabaud P. (1982), Utilité de l'essai au bleu de méthylène en terrassements routiers.
- ❖ COLLINS. K ET MCGOWN. A (1974) "The form and function of microfabric features in a variety of natural soils" Géotechnique, vol. 24, 223-254.
- ❖ Cuisinier, O., (2002), Comportement hydromécanique des sols gonflants compacté.
- ❖ Dakshanamurthy, V., & Raman, V. (1973). A simple method of identifying an expansive soil. Soils and Foundations, 13(1), 97-104
- ❖ Djaani Mabrouka et Benmansour Samah Farah (2011) "stabilisation des sols gonflants de la region d'in-amenas par ajouts des liants hydrauliques (chaux et ciment).
- ❖ Djabri .L, (1987), Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement de Tébessa ; essai de modélisation.
- ❖ Ejjaouani Houssine (2008) "interactions des fondations et des sols gonflants : pathologie, calculs et études expérimentales.

LES REFERENCES

- ❖ El-Sohby, M.A., and Rabba E.A. (1981), Some factors affecting swelling of clayey soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 12, p. 19-39.
- ❖ GENS .A ET ALONSO, E.E., (1992) « A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays".
- ❖ Geremew, W., Mordukhovich, B.S., & Nam, N. M. (2009). Coderivative calculus and metric regularity for constraint and variational systems. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 70(1), 529-552.
- ❖ Guiras-Skandaji, H. (1996). Déformabilité des sols argileux non saturés: étude expérimentale et application à la modélisation .
- ❖ Hachichi, A., & Fleureau, J. M. (1999). Caractérisation et stabilisation de quelques sols gonflants d'Algérie.
- ❖ Hanane. Hazmoune , (2013) : approche des étude géotechnique liées a la pathologie des ouvrages .
- ❖ Hashim M.A. et Suleman R.A. (2012), Assessment and Modelling of the Swelling Behaviour of Black Cotton Soils from North-East Nigeria.
- ❖ Hossein Nowamooz "Retrait /Gonflement des sols argileux compactes et naturels".
- ❖ Jouini Mahmoud , Said Naceur , (2016) : Simulation paramétrique du comportement d'un remblai de sol pulvérulent reposant sur une couche d'argile gonflant par le logiciel PLAXIS , cas de l'évitement de la ville de Tébessa.
- ❖ Kergoët M. et Cimpelli C. (1980), Appréciation d'un comportement de sable fin pollué par l'essai au bleu de méthylène.
- ❖ Latreche mohieddine, (2014) : habilité des sols a la construction et choix du type de fondation pour la nouvelle cité Doukkane.w. de Tébessa.
- ❖ Lautrin D. (1987), Une procédure rapide d'identification des argiles, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, 152nov-dec., p. 75-84.
- ❖ Magnan J.-P. et Youssefian Ch., (1989), Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols.
- ❖ MAGNANJ. P. (2013). Panorama des sols gonflants en géotechnique. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n°280-281, pp. 85-103.
- ❖ Mazouz Badis (2010) "modelisation par element finis d'une semelle filante flexible soumise a l'action des sols argileux gonflant".
- ❖ Mohamed, A. M., Yong, R. N., & Mazus, M. T. (1995). Contaminant migration in engineered clay barriers due to heat and moisture redistribution under freezing conditions.
- ❖ MOUROUX, P., MARGON, P., ET PINTE, J.C., (1988), « La construction économique sur sols gonflants ».
- ❖ Nowamooz H., (2007), Retrait/gonflement des sols argileux compactés et naturels.
- ❖ Said Khaddaj (1992) " étude en laboratoire du gonflement de l'argile des Flandres ".

LES REFERENCES

- ❖ Sánchez-Azofeifa, G.A., Quesada, M., Rodriguez, J.P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., ... & Fajardo, L. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests I. *Biotropica*, 37(4), 477-485.
- ❖ Seed, H. B., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 88(3), 53-88
- ❖ Seed, H.B., Woodwaerd, R.J. et Lundgren R., (1962), Prediction of swelling potential for compacted clays.

- ❖ Skempton A. W., (1953), The colloidal activity of clays.

- ❖ Sridharan, V., Beny, W.L., & Udayabhanu V. (1987). Freezing the master production schedule under rolling planning horizons. *Management Science*, 33(9), 1137-1149.
- ❖ Tabani, P. (1999). Transfert hydrique dans des sols déformables.

- ❖ Tran Ngoc Lan, (1979), A new test for the identification of soils - methylene blue Test, *Bulletin Liaison Laboratoire Ponts et Chaussée*. Vol. 88, p.136–137.

- ❖ Tripathy, S., Chua, S. J., Chen, P., & Miao, Z. L. (2002). Micro-Raman investigation of strain in GaN and Al_xGa_{1-x}N/GaN hetero structures grown on Si (111). *Journal of Applied Physics*, 92(7), 3503-3510.
- ❖ Türköz, M. et Tosun, H., (2011), The use of methylene blue test for predicting swell parameters of natural clay soils.
- ❖ Van der Waals, J. H., & Platteeuw, J. C. (2007). Clathrate solutions. *Advances in Chemical Physics*, Volume 2, 1-57.
- ❖ Vijayvergiya, V. N., & Ghazzaly, O. I. (1973, July). Prediction of swelling potential for natural clays. In *Proceedings of the Third International Conference on Expansive Clay Soils (VOL. 1, pp. 227-234)*.
- ❖ Villar, M. V., & Lloret, A. (2008). Influence of dry density and water content on the swelling of a compacted bentonite. *Applied Clay Science*, 39(1), 38-49.
- ❖ Williams, A. A., & Donaldson, G. W. (1980). Building on expansive soils in South Africa: 1973-1980. In *Expansive Soils*: (pp. 834-844). ASCE.
- ❖ Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition*, 89(1), B15-B25.
- ❖ Yukselen Y. et Kaya, A., (2008), Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils, Elsevier, *Engineering Geology*, vol. 102, p. 38–45.
- ❖ Zereg Salah,(2010), Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des régions semi-aride (exemple des plaines de Tébessa, Chéria et El Malabiod, Est Algérien), Mémoire de magistère, Université Hadj Lakdar Batna, 108p.

Annexes

Annexes

Annexe 1 : Logs des sondages carottés

SONDAGE : 01

PROFONDEUR : 0.00-10.00 m

Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00	Terre végétale.		
0.30	Limons graveleux sableux à marneux (T.V.N) à galets brunâtre à blocs calcaires beigeâtres		
0.80	Marne verdâtre peu compacte très gypseuse		
10.00		Forage non destructif Ø 116	



Annexes

SONDAGE : 02

PROFONDEUR : 0.00-10.00 m

Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00 0.50	Terre végétale.		
	Marne verdâtre peu compacte très gypseuse		
8.00	Blocs calcaire dans une matrice marneuse		
10.00			

Forage non destructif Ø 116



Annexes

SONDAGE : 03

PROFONDEUR : 0.00-10.00 m

Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00	Terre végétale.		
1.50	Limon graveleux sableux à marneux (T.V.N) à galets brunâtre		
10.00	Marne verdâtre peu compacte très gypseuse	Forage non destructif Ø 116	



Annexes

SONDAGE : 04

PROFONDEUR : 0.00-10.00 m

Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00	Terre végétale.		
0.30	(T.V.N) Limon sableux graveleux à caillouteux brunâtre		
3.30	Marne peu compacte très gypseuse brunâtre à verdâtre		
10.00		Forage non destructif Ø 116	



Annexes

SONDAGE : 05

PROFONDEUR : 0.00-10.00 m

Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00 0.30	Terre végétale.		
4.40	Marne verdâtre peu compacte très gypseuse		
6.80	Bloc calcaire et des galets dans une matrice marneuse		
10.00	Marne verdâtre peu compacte		
		Forage non destructif Ø 116	



Annexes

Annexe 2. LES COURBES D'ESSAIS

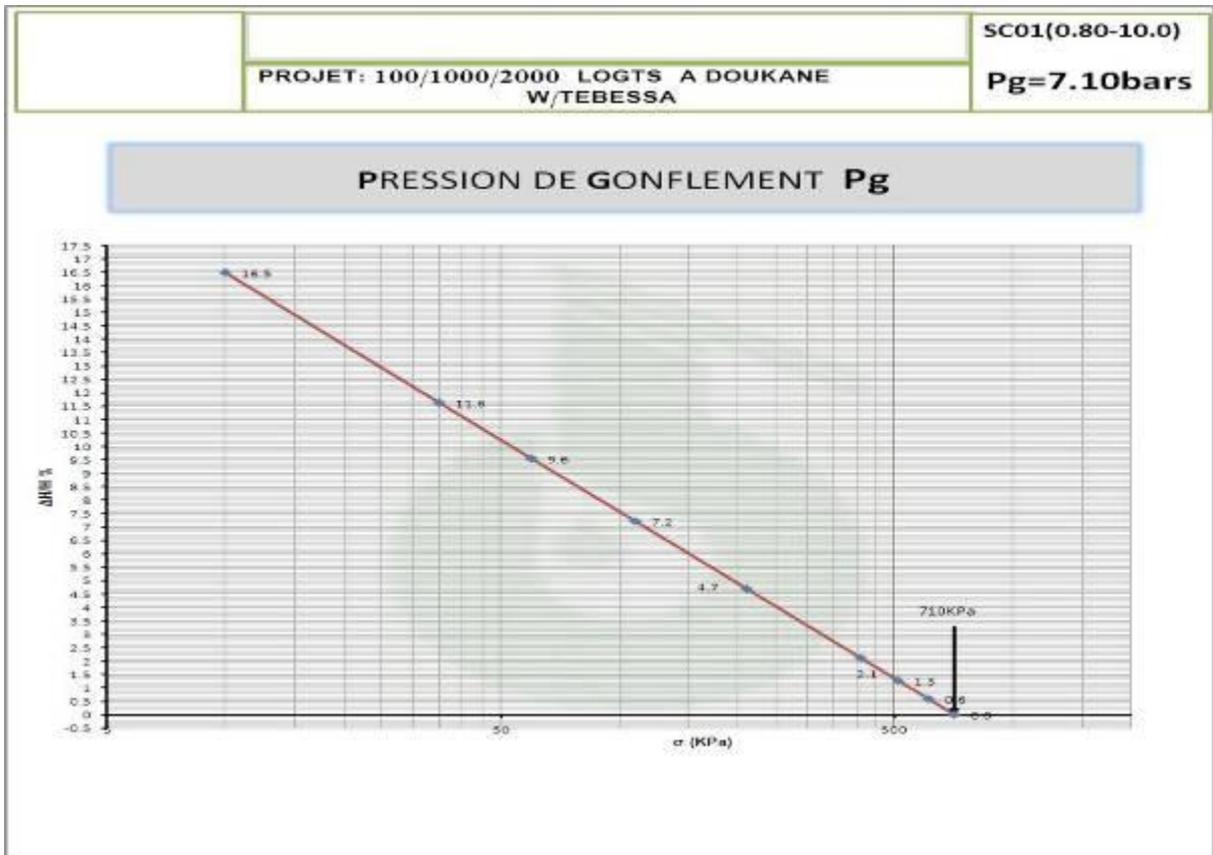


Figure 4 : Courbe œdométrique S1 p (0.80-10.0)

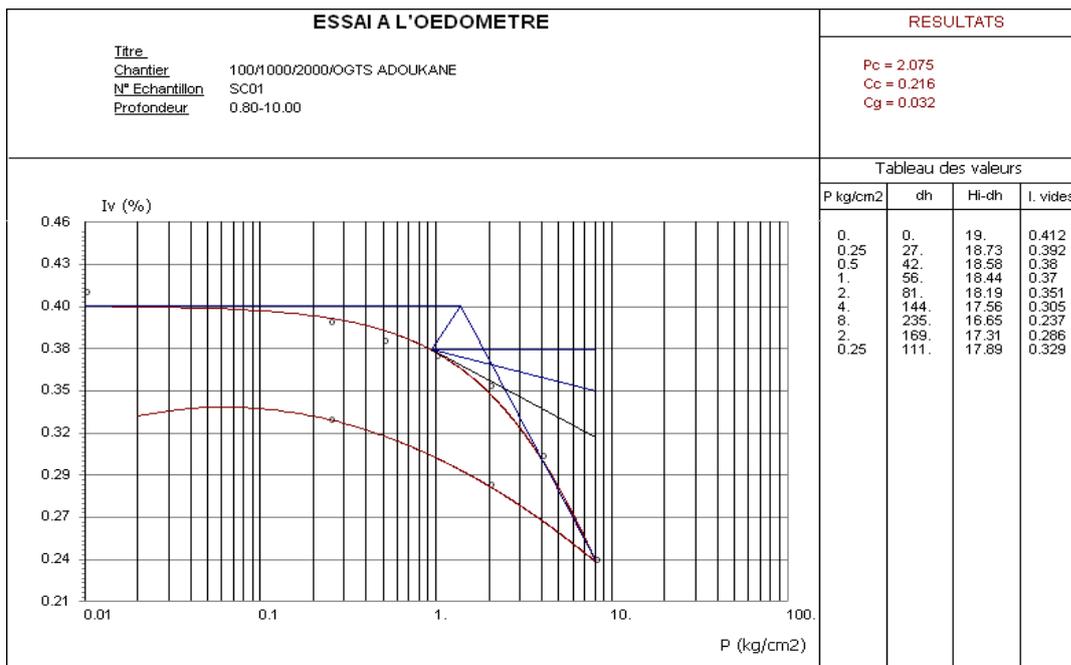


Figure 4 : Courbe gonflement à l'oedomètre S1 p (0.80-10.0)