

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr MOULAY TAHAR



Faculté de technologie

Département de génie civil et de l'hydraulique

PROJETDEFINDE CYCLE

Présenté pour l'obtention du diplôme de master en Génie Civil

Spécialité: Géotechnique

Thème:

Pathologies des sols dans la ville de SAÏDA

Présentépar:

M^{me} : Messaoudi Mokhtaria

M^{elle} : Khodja Nesrine Aicha

Soutenule 26/ 06/2024devantlejurycomposéde:

M.DERFOUF.F-E.M....	Maître de Conférences «A».....	Président
M.BELOUADI.L....	Maître de Conférences «A».....	Encadrant
M.SSEKAL.A.....	Maître de Conférences «A».....	Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciement

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur «**M. belouadi larbi**» pour son soutien, ses conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet.*

Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude au jury et à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation au sein de l'université de Saida. Et toute la promotion de génie civil.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire a :

*Au meilleur papa « **MUSTAPHA** »*

*Aucune dédicace ne se saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai
toujours pour vous.
Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation,
mon formation et mon bien être.*

Ma très chère mère

*Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement
qui n'a pas cessé de m'encouragé et de prier pour moi.*

*A ma sœur « **NOUR** »*

*A MA MEILLEUR AMIE « **Messaoudi Mokhtaria** »*

A TOUS MA FAMILLES

A tous mes amis

*A toute les étudiants de «Génie civil Géotechnique»
A toute personne m'ayant aidé à franchir un horizon dans ma vie et mes
études*

KHODJA NESRINE

DEDICACE

Je dédie ce projet :

A ma chère mère

A mon cher père

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir
et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

A mes frères et ma sœur.

A mon marie.

*A ma cher amie **khodja nesrine aicha***

Pour sa compréhension et sa sympathie.

Toute ma famille.

A tous les enseignants de «Génie civile»

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A Tous les amis sans exception.

A toute personne utilisant ce document pour un bon usage.

Messaoudi Mokhtaria

RESUME

Saïda connue par un climat semi-aride caractérisé par des variations thermiques et pluviométriques importantes, elle se distingue d'un point de vue géologique par des formations argileuses dominantes appelées « Argiles de Saïda ». Ce contexte particulier (climat, géologie) est suffisant pour l'apparition de cas pathologiques des constructions en relation avec le comportement des sols d'assise des fondations. Il s'avère que les sols dits gonflants notamment les argiles sont problématiques et posent de sérieux problèmes s'ils ne sont pas pris en considération avant l'apparition des signes sérieux de dégradations ou de sinistres. Cette étude recense de manière synthétique les cas de pathologies à l'échelle de la ville de Saïda et tente de déceler les causes et les facteurs d'influence aggravant les dégradations constatées. L'accent est mis sur le potentiel du gonflement des argiles et le degré d'exposition des constructions aux risques qu'il peut générer.

Mots clefs : diagnostic, désordres, pathologie, causes, sols gonflants, réhabilitation.

تختص ولاية سعيدة بمناخ شبه جاف يتميز بتغيرات كبيرة في درجات الحرارة وهطول الأمطار، وتتميز أيضا من الناحية الجيولوجية بتكوينات طينية سائدة تسمى " طين سعيدة". هذا السياق الخاص (المناخ والجيولوجيا) كاف لظهور الحالات تشكل خطرا للإنشاءات فيما يتعلق بالتربة الأساسية. وتبين أن ما يسمى بالتربة المنتفخة، وخاصة الطينية، تشكل خطرا ومشاكل خطيرة إذا لم يتم أخذها بعين الاعتبار قبل ظهور علامات التلف. تلخص هذه الدراسة حالات من العلل في بعض أنحاء مدينة سعيدة وتحاول تحديد الأسباب والعوامل المؤثرة التي قد تؤدي إلى تدهور و تفاقم الوضع الملحوظ. يتم التركيز على احتمالية انتفاخ الطين ودرجة تعرض المنشآت للمخاطر التي يمكن أن تولدها.

الكلمات المفتاحية: التشخيص، العيوب، علم علل، الأسباب، تورم التربة، إعادة التأهيل.

ABSTRACT

Saïda has a semi-arid climate characterized by significant thermal and rainfall variations. It is distinguished from a geological point of view by dominant clay formations called “Clays of Saïda”. This particular context (climate, geology) is sufficient for the appearance of pathological cases of constructions in relation to the behavior of the foundation soils. It turns out that so-called swelling soils, particularly clays, are problematic and pose serious problems if they are not taken into consideration before the appearance of serious signs of damage or damage. This study summarizes cases of pathologies across the city of Saïda and attempts to identify the causes and influencing factors aggravating the observed deterioration. Emphasis is placed on the potential for clay swelling and the degree of exposure of constructions to the risks it can generate.

Keywords: diagnosis, disorders, pathology, causes, swelling soils, rehabilitation.

List des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les argiles

Tableau n°I- 1 : Caractéristique moyennes de ces argiles.....	12
Tableau n°I-2 : Relation entre le potentiel de gonflement et la limite de retrait.....	19
Tableau n° I -3: Relation entre le potentiel de gonflement et l'indice de plasticité.....	19
Tableau n°I- 4 : Potentiel de gonflement.....	19
Tableau n°I-5 : Potentiel de gonflement.....	19
Tableau n° I-6 : Potentiel de gonflement.....	20
Tableau n° I-7 : Potentiel de retrait.....	20
Tableau n° I-8 : Potentiel de gonflement.....	20

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

Tableau n°II-9 : Pluviométrie moyenne mensuelle, Saïda 2014.....	25
Tableau n°II-10 : Classification des climats selon la valeur de l'indice d'aridité.....	26

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Tableau n° III -11: Description structurelle sommaire des ouvrages.....	58
Tableau n° III -12: Résultats des essais géotechniques des sites étudié.....	66
Tableau n°III -13 : Classification des sols grenus (selon L.C.P.C).....	68
Tableau n° III -14: Période de gelée en nombre de jours à Saïda (1990-2010).....	74
Tableau n°III -15: Températures minimales absolue (en °C), 1990-2010.....	75
Tableau n°III -16: Influence du système racinal des essences sur les constructions environnantes...	76

List des figures

Chapitre I : Généralités sur les argiles

Figure n° I-1 : Argile naturelle de St Marcel	4
Figure n° I-2 : Représentations formant les minéraux argileux.....	5
Figure n° I-3: Couches tétraédriques (Cuisinier, 2002).....	6
Figure n° I-4: Octaédriques (Cuisinier, 2002).....	6
Figure n° I-5: Argiles fibreuses : Exemple de la palygorskites.....	7
Figure n° I-6: (A) Structure de la Kaolinite, (B) Photo de kaolinite.....	10
Figure n° I-7: (A) Structure d'une smectite, (B) Photo de Montmorillonite.....	11
Figure n° I-8: (A) Structure de l'illite, (B) Photo micrographie électronique de l'argile Illite.	11
Figure n° I-9: (A) Structure de chlorite, (B) Photo micrographie électronique de chlorite....	12
Figure n° I-10: Influence de la forme de la particule sur la surface spécifique.....	13
Figure n° I-11: Surface des particules argileuses (smectite), interne et externe.....	14
Figure n° I-12 : Localisation de l'eau dans les particules argileuses.....	15
Figure n° I-13: Désordres de la structure au cours des périodes de sécheresse.....	16

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

Figure n° II-14: Température Moyennes Mensuelle, Saida pour la période 1983-2012	24
Figure n° II -15: Type de sol selon la granulométrie.....	27
Figure n° II-16: Type de sol selon la lithographie.....	27
Figure n° II -17: Type de sol selon le degré de plasticité.....	27
Figure n° II-18: Type de sol selon la sensibilité au gonflement.....	27

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Figure n° II -19: Schémas de transmission des charges (Q) d'un pavillon au sol.....	71
Figure n° II-20: Période de gelée en nombre de jours (1990-2010).....	75
Figure n° II-21: Reboucher fissure dalle béton à l'aide d'un mortier de réparation.....	79
Figure n° II-22: Réparation fissure béton avec de la résine époxydique.....	79
Figure n° II-23 : Exemples d'écran anti-racine.....	82

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les argiles

I -1-Introduction.....	3
I -2-Définition.....	3
I -3-Origine des Argiles.....	4
I -4-Argiles néoformées.....	4
I -5-Minéraux argileux.....	5
I -5-1- Structure des minéraux argileux.....	5
I-5-2-Les types argiles.....	9
I-6- Propriété des argiles.....	13
I-6-1- Formes et surfaces spécifiques.....	13
I-6-2-Capacité d'échange cationique.....	14
I-6-3-Capacité de gonflement et d'adsorption.....	14
I-7-Gonflement du sol.....	15
I-7-1-Description de phénomène de gonflement.....	16
I-7-2- Nature du phénomène.....	16
I-7-3- Identification des sols gonflants.....	17
I-7-4-Mécanisme du gonflement.....	17
I-7-5- Définition des paramètres du gonflement.....	18
I-8- Conclusion	21

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

II-1- Introduction.....	22
II-2- Présentation sommaire de Saïda.....	23
II-2-1 - Situation géographique.....	23
II-3-Evaluation des désordres observés.....	27
II-3-1-Désordres observés à l'extérieur et sur les façades des bâtiments.....	29
II-3-2-Désordres observés à l'intérieur des bâtiments.....	34
II-4-Pathologie de béton.....	42
II-3-1- Affaissement et dégradations de dallage (intérieur et extérieur)	44
II-3-2- Présence abondante de végétation nuisible	49
II-4- Description et interprétation des dégradations.....	51
II-5-I-Tassement et affaissement des dallages	54
II-6-Conclusion	55

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

III-1- Introduction.....	56
III-2- Description structurelle sommaire des ouvrages.....	56
III-3- Causes probables des désordres relevés.....	60
III-4-Pathologies de fondation.....	65
III-5-Interprétation des résultats géotechniques.....	66
III-6-Les conséquences de l'action de l'eau sur les sols argileux.....	70
III-7-Conséquences du phénomène de retrait-gonflement.....	74
III-8-Le phénomène de « gel-dégel ».....	74

Sommaire

III-9- Présence de végétaux et d'arbres.....	76
III-10- Remèdes et solutions.....	77
III-9-1- Précaution en cas de ruissellement d'eaux	78
III-9-2-Réparation des erreurs des dallages.....	80
III-9-3-Réparation et reconstruction des parties endommagées des maçonneries.....	81
III-9-4- Aménagement d'espace	81
III-11-Conclusion	82
 Conclusion générale.....	 83
Bibliographie.....	84
Annexes.....	87

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les solsgonflant ou expansif sont largement répartis dans les régions arides et semi-arides, y compris dans certaines régions tempérées du monde. Plusieurs pays du monde (Afrique du Sud, Australie, Argentine, Birmanie, Chine, Cuba, Éthiopie, France, Ghana, Grande-Bretagne, Inde, Iran, Palestine, Kenya, Mexique, Maroc, Espagne, Turquie, Royaume-Uni, Les États-Unis, Venezuela) ont signalé des problèmes importants de pathologie de sol à travers des travaux de recherche [3].

Dans les pays du Maghreb, l'existence des sols gonflants est signalée uniquement en Algérie et au Maroc, mais des cas pathologiques sont enregistrés en Tunisie (Berthelot, 2002, Trabelssi et al, 2002 et Khemakhem et al, 2002). En effet, des travaux de recherches ont signalés l'existence de sols gonflants au centre de l'Algérie, au Sud-Est (Ain- Aménas) (Derriche et al ,1998), à l'Ouest (Hachichi et al, 1999 et Bekkouche et al, 2001) et à l'est (Khemissa et al 2007) dans la région de M'sila [27].

Les dommages causés aux ouvrages de génie civil sont principalement dus aux changements significatifs des caractéristiques des sols dits « sols gonflants », qui se traduisent par une variation de leur volume. Malgré les avancées des sciences de la géotechnique et les moyens d'investigation, le phénomène de pathologie n'est pas suffisamment pris en compte en matière de prévention et de réhabilitation. Ces dernières années, les pathologies affectant les ouvrages de génie civil sont restées largement répandues, posant des défis importants pour les professionnels de la construction.

La ville de Saïda édifiée au confluent de deux oueds a vu son développement urbains étendre sur des terrains de plus en plus problématiques où lessols sont souvent argileux et dont les effets sur les ouvrages prennent de plus en plus de l'ampleur et notamment dans ses extensions récentes. Il y est recensé plusieurs cas de pathologies des constructions liés au comportement et à la nature géologique des sols dit « gonflants ». En effet, la plupart des bâtiments, objet de l'étude, sont construits durant la période 1970-1990, certains bâtiments ont atteint un état de dégradation plus ou moins avancé au point que leur évacuation est devenue une mesure urgente. Les fissures et les affaissements sont les manifestations les plus

INTRODUCTION GENERALE

récurrentes affectant aussi bien la superstructure que l'infrastructure et dont les causes sont liées souvent au phénomène de retrait-gonflement. Les sols rencontrés à l'échelle de la ville de Saïda sont majoritairement des sols fins, constitués de marne, d'argile et parfois de sables fins. Ils sont souvent plastiques à très plastiques, présentant un potentiel de tassement et de gonflement assez marqué [37]. Le climat semi-aride à grandes variations climatologiques et le contexte géologique dominé par des formations argileuses appelée « Argiles de Saïda » [32] constituent des prédispositions suffisantes à l'apparition de cas pathologiques liés au comportement du sol d'assise.

La présente étude présente quelques aspects et contextes caractérisant la ville de Saïda notamment ceux inhérent au type de sol d'assise et le phénomène de retrait-gonflement des argiles. Elle met en évidence quelques cas de pathologie d'établissements en cours d'exploitation. Cette étude est appuyée par une analyse des résultats des essais géotechniques de sols, des rapports d'expertise et des études de fin de cycle.

L'objectif de ce travail tente de connaître les mécanismes de dégradation des bâtiments à partir de l'état général des constructions et les causes directes ou indirectes responsables des dégradations observées. Afin d'atteindre l'objectif assigné à ce travail, la méthode d'approche adoptée s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation générale sur les minéraux argileux, leurs propriétés structurales, morphologique et le cadre général de la famille des argiles.

Le deuxième chapitre traite les effets de gonflement sur les ouvrages en l'occurrence les dégradations des maçonneries et des dallages illustrés par des photographies appuyés par des descriptifs.

Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des désordres pour établir une première interprétation des effets pathologiques du sol. Il s'agit d'identifier les causes à l'origine des dégradations visibles en remontant l'enchaînement dans l'ordre : dommage-effet-cause directe-cause lointaine afin de justifier des actions de réparation appropriées à même d'assurer la durabilité des bâtiments concernés.

En conclusion, Une compréhension approfondie des causes et des effets des pathologies liées aux sols gonflants permettra de mieux protéger les ouvrages de génie civil et d'assurer la sécurité des constructions futures.

CHAPITRE I

I-1- Introduction

Les sols argileux sont reconnus comme des sols sensibles aux variations hydriques subies au cours des cycles saisonniers, pouvant engendrer des désordres importants sur les constructions à travers le monde [36].

Les argiles se distinguent par leur grande capacité d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par leurs caractéristiques rhéologiques spécifiques.

Les argiles sont utilisées dans différents domaines tels que les céramiques, le forage pétrolier, le secteur minier, les peintures, les revêtements, les absorbants, le métal et le papier. Il est difficile de les caractériser en raison de leur nature. Leur taille est réduite, leur structure est variable et leur formation et leur altération sont relativement lente.

I -2-Définition

Le mot argile a deux définitions dans le jargon géologique. pour caractériser les particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à 2 micromètre il recouvre toutes les petites particules formées par les processus d'érosion altération des roches et ce, quelle que soit sa nature minéralogique. Pour la deuxième, c'est un minéral (plus exactement une famille de minéraux) de la famille des silicates plus précisément des phyllo silicates (silicates en feuillets) (en général plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée, capacité plastique, ou bien une structure fibreuse, capacité d'absorption). En général, il est produit par l'altération par l'eau des autres silicates. C'est la raison pour laquelle on les retrouve systématiquement dans les sols et les formations superficielles, et on les retrouve également très souvent dans les formations rocheuses [36].

Les argiles peuvent être classées en deux grandes catégories [19]:

- Les argiles plastiques: elles sont tendres et très déformables
- Les argiles raides : elles sont indurées et présentent un comportement plus fragile que ductile au la limite d'élasticité, et ce là à cause de la présence des carbonates et du quartz.

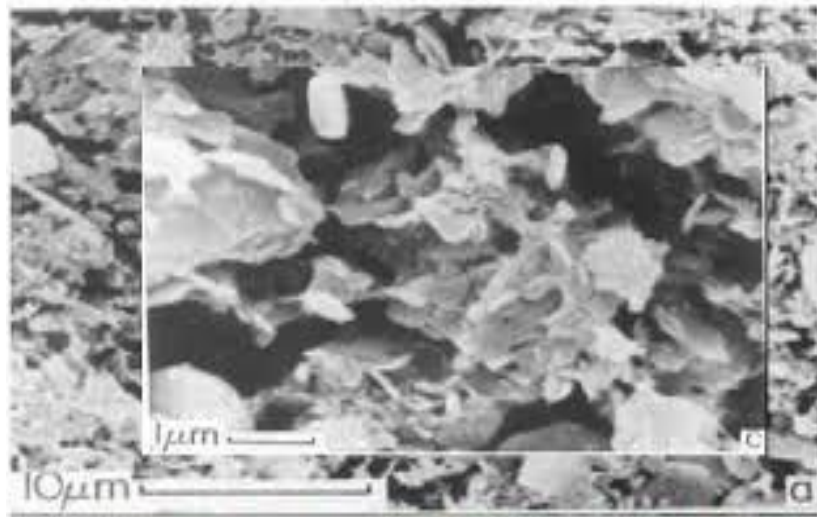


Figure n° I-1 : Argile naturelle de St Marcel ($W= 80\%$, $WI= 60\%$, $Wp= 25\%$, $St = 19$) (MEB)[36].

I -3-Origine des argiles

Les argiles désignent de très fines particules de matière arrachées aux roches par l'érosion ainsi que les minéraux argileux ou phyllo silicates (ces dernières observées au microscope ont la forme de plaquettes, ce qui explique leur plasticité). La plupart de ces particules proviennent de la désagrégation de roches silicatées (altération des silicates): du granite (mica et feldspath), du gneiss ou encore des schistes. Ces particules sont transportées par le vent ou l'eau sous forme de limon ou de vase. Les fleuves véhiculent des argiles qui finissent par se déposer en alluvions, dans le cours d'eau lui-même, à son embouchure, dans un lac ou dans la mer. Les dépôts peuvent alors sédimenter et former une roche argileuse par diagenèse : déshydratation et compactage. En tant que roches sédimentaires, les affleurements argileux présentent une succession de strates empilées les unes sur les autres [19].

I -4- Argiles néoformées

Les terres argileuses sont composées d'éléments très fins, provenant de la dégradation mécanique et chimique de roches préexistantes (en particulier les micas et les feldspaths). Les argiles résultant peuvent rester sur les lieux mêmes de leur formation, comme le kaolin. Elles sont le plus souvent entraînées par les eaux ou le vent, se déposant sous forme de masses stratifiées ou parfois en poches lenticulaires ou sphériques. On trouve ainsi les bancs d'argile dans les sédiments depuis l'ère Tertiaire, au pied des montagnes et dans les grandes vallées fluviales. Après la dissolution d'un calcaire, des argiles peuvent également se former puis

tapisser les dépressions karstiques (les dolines). Lors de leurs déplacements, elles peuvent entraîner des minéraux rencontrés sur leur chemin. D'où une très grande variété de finesse, de coloration et de composition, selon les niveaux successifs d'un même gisement et à plus forte raison de l'un à l'autre [19].

I -5-Minéraux argileux

I -5-1- Structure des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont des phyllo silicates comme le sont les cristaux de micas (biotite ou muscovite) qui se débitent en lamelles lorsqu'ils sont macroscopiques. Le feuillet élémentaire de chaque espèce peut être décrit par un agencement spécifique de deux types de couches déterminées par la géométrie des polyèdres et la coordinence des cations : la couche tétraédrique et la couche octaédrique [19].

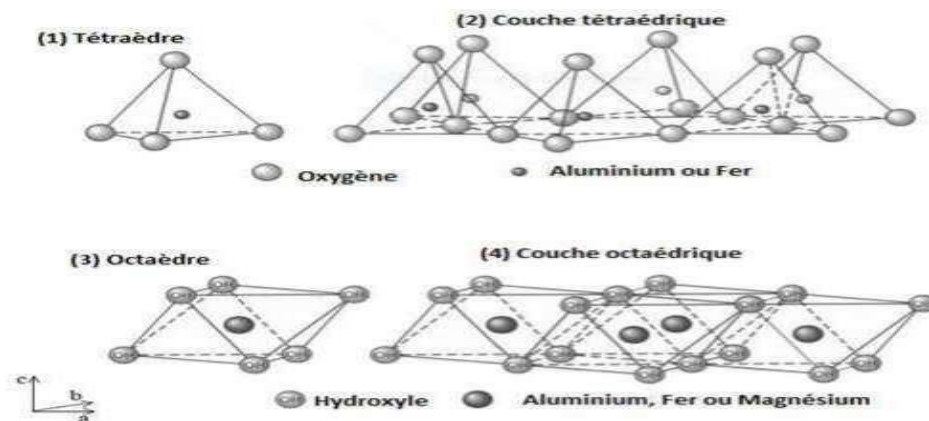


Figure n° I-2 : Représentations formant les minéraux argileux

1-La couche tétraédrique

Dans l'élément tétraédrique, l'ion central est la silice (Si^{+4}) qui est entouré par 4 ions d'oxygène (O^{2-}). Les tétraèdres sont liés ensemble par leurs bases en partageant un ion d'oxygène entre deux tétraèdres pour former une couche tétraédrique. [28].

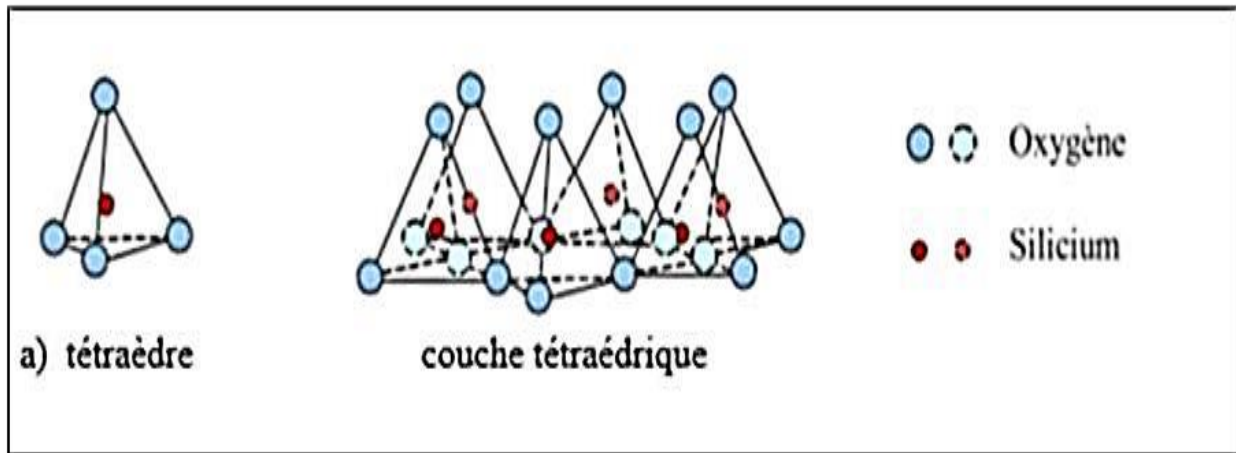


Figure n°I-3: Couches tétraédriques (Cuisinier, 2002).

2-La couche octaédrique

Dans l'élément octaédrique, l'ion central est soit un ion d'aluminium (Al^{+3}), soit un ion de magnésium (Mg^{+2}). Ces derniers sont entourés par six ions d'hydroxyde (OH^-). Les unités octaédriques sont liées ensemble de telle sorte que chaque groupement fonctionnel (OH^-) est partagé entre 3 unités octaédriques. La formule générale de ce groupement est $n [\text{Al}_2(\text{OH})_6]$ ou $n[\text{Mg}_3(\text{OH})_6]$ [28].

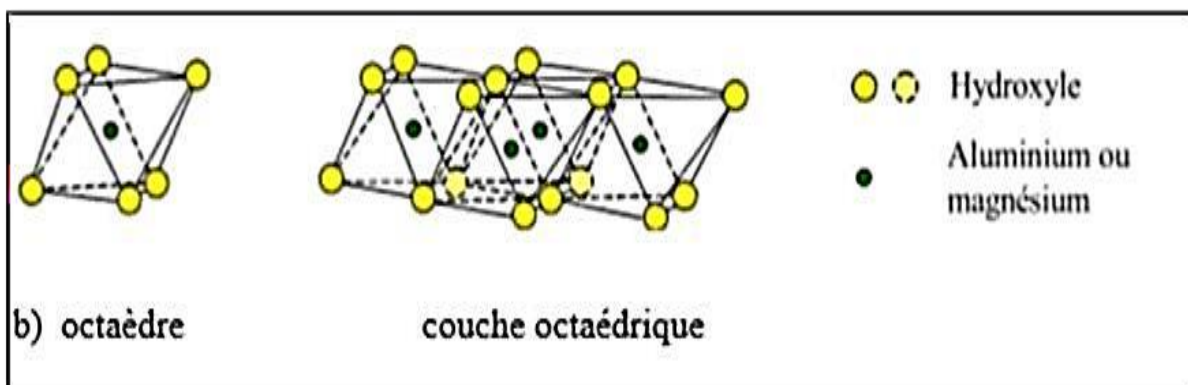


Figure n° I-4: Octaédriques (Cuisinier, 2002).

I -5-1-1- Classification des argiles

La classification des argiles et leur nomenclature dépendent de leur composition chimique et de l'ordre structural. La classification adoptée par le comité de nomenclature de l'Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA : Association Internationale Pour l'Etude

des Argiles) varient avec les données structurales. Suivant le mode d'agencement des tétraèdres et des octaèdres constitutifs des argiles [8], on distingue deux grandes familles de minéraux [30]:

1) Les minéraux fibreux (inter stratifiés) qui sont caractérisées par une structure fibreuse ou enfeuillets rubanés; elles sont souvent magnésiennes sont des espèces à pseudo feuillets dans lesquels les feuillets sont alternés ou, le plus souvent, les espaces inter foliaires sont différents, par exemples les palygorskites (attapulgite) et les sépiolites [4,30].

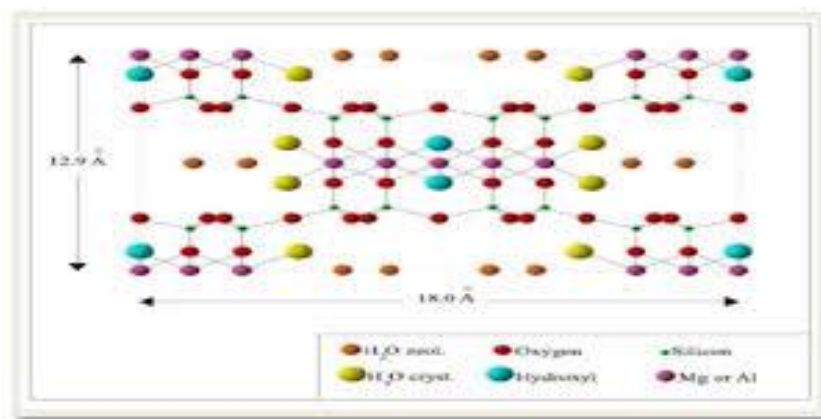


Figure n°I-5:Argiles fibreuses : Exemple de la palygorskites

2) Les minéraux phylliteux à structures lamellaires. Ces derniers sont les plus répandus et les plus étudiés. Il s'agit de phyllo silicates minéraux formés par l'empilement de feuillets, leur classification est basée sur le mode d'association des couches structurales et le degré d'occupation des sites de la couche octaédrique (di ou tri octaédrique). Selon la séquence d'empilement des couches tétraédriques et octaédriques [4,30], Nous distinguons ainsi quatre groupe :

- Type 1/1 (Minéraux à 7 Å).
- Type 2/1 (Minéraux à 10-15Å).
- Type 2/1/1 (Minéraux à 14 Å).
- Minéraux inter stratifiés.

1-Les minéraux de type 1/1(ou T-O)

Le feuillet est formé par la juxtaposition d'une couche tétraédrique et une couche octaédrique [31].

Les cristallites des minéraux de type TO ont leurs feuillets successifs empilés de telle sorte que le plan des atomes d'oxygène d'un feuillet se trouve en face de celui des groupements d'hydroxyles du feuillet voisin. Des liaisons hydrogène inter feuillets stabilisent alors l'empilement. Cet assemblage peut se faire pour différentes positions des deux plans, ce qui entraîne des déplacements relatifs des feuillets et détermine le système cristallin du minéral [12].

L'ensemble des charges est reparti de telle sorte que le feuillet est électriquement neutre. La cohésion des feuillets est assurée par des ponts hydrogènes. Dans ce sous-groupe d'argiles, on peut citer la famille des kaolinites (la kaolinite, la dickite et la nacrite) et l'halloysite [4].

2-Les minéraux de type 2/1(ou T-O-T)

Le feuillet est constitué d'une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques avec la seconde couche tétraédrique étant renversée par rapport à la première, ces trois couches sont liées entre elles par des atomes d'oxygène. L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15 Å selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des smectites, des illites, des vermiculites et celui des micas, ces argiles peuvent se trouver dans trois situations différentes [9]:

-Pas de substitution isomorphe

-Des substitutions octaédriques

-Des substitutions tétraédriques

-Dans la première situation, tous les sites octaédriques sont occupés par Mg^{2+} (pas de substitution isomorphe). En conséquence, il n'y a aucun déficit de charge sur la surface.

Les feuillets sont alors électriquement neutres et présentent une grande stabilité vis-à-vis de l'eau, exactement comme dans le cas des argiles T-O.

-Dans le cas où il y a une substitution isomorphe, il existe un déficit de charge (souvent négatif) sur la surface des feuillets, qui est compensé naturellement par les cations compensateurs. Le déficit de charge qui en résulte est compensé dans l'espace inter foliaire par des ions potassium K^+ qui assurent des liaisons fortes entre les feuillets est compensé par l'introduction dans l'espace inter foliaire.

3- Les minéraux de type 2/1/1 (ou T-O-T-O)

Ces minéraux sont issus de la combinaison de deux couches octaédriques avec deux couches tétraédriques. La charge du feuillet est compensée par une couche inter foliaire d'octaèdre contenant des atomes d'aluminium et/ou de magnésium [12]. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14\AA , à ce type correspond le groupe du chlorite [10].

4- Minéraux inter stratifiés

Les similitudes dimensionnelles, à micro échelle, des différentes argiles, permettent l'inter stratification de plusieurs types de feuillets. Parmi l'inter stratifiés les plus fréquents, citons : illite-smectite, entre argiles T-O-T, mais aussi inter stratifiés entre argiles T-O-T et argiles TO, tel que smectite-kaolinite. Ces inters stratifiés peuvent présenter tous les degrés d'ordre, entre distribution parfaitement régulière et distribution totalement aléatoire des différents types de feuillets [6].

Un minéral inter stratifié régulier est formé de l'empilement régulier de feuillet de minéraux argileux élémentaires de nature différente, en proportion variées. Dans ce cas l'empilement des différents types de feuillet se fait selon des séquences répétitives (EX : A-B-A-B-A-B). Un inter stratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des différents types de feuillets est aléatoire, c'est-à-dire si aucune séquence répétitive ne se dessine [5].

I-5-2 Les types argiles

Les argiles sont nombreuses dans la nature, à cause de la variété de leurs caractéristiques, et il est difficile de les énumérer, mais nous mentionnerons les groupes souvent rencontrés en géotechnique [36].

I-5-2-1- Kaolinite

Les kaolinites appartiennent à la famille des phyllo silicates (1:1). Le feuillet élémentaire est composé d'une couche tétraédrique de silicium et d'une couche octaédrique d'aluminium. D'un feuillet de kaolinite à l'autre des ions hydroxyles OH des couches octaédriques sont en vis-à-vis d'un plan contenant des ions d'oxygène O^{2-} de la couche tétraédrique; dans ce cas, les liaisons inter foliaires résultent de l'effet composé de liaisons hydrogène et de forces [40].

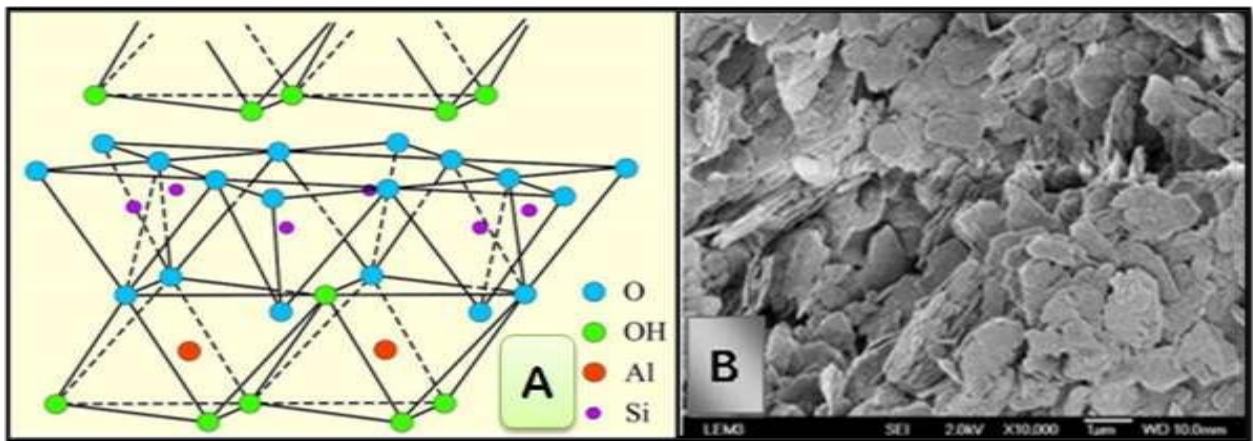


Figure n° I- 6: (A) Structure de la Kaolinite, (B) Photo de kaolinite [36].

I-5-2-2-Smectites

Les smectites, telles que la montmorillonite et la bentonite, font partie de la famille des phyllo-silicates (2:1) qui gonflent. La structure du feuillet élémentaire se distingue par l'empilement de deux couches tétraédriques séparées par une couche octaédrique. La plupart des tétraèdres sont formées par des atomes de silicium, mais des cations (Al, Fe) peuvent également être substitués dans ces tétraèdres. Quant à elles, les couches octaédriques sont constituées d'aluminium, de magnésium, de fer 2+ et de fer 3+ (Leger, 18 septembre 1997). Par conséquent, les smectites ont besoin d'équilibrer leur charge dans l'espace entre les feuilles en introduisant des cations dans cet espace. Ces cations, qui n'ont pas de relation avec la structure, peuvent être échangés par d'autres cations [40].

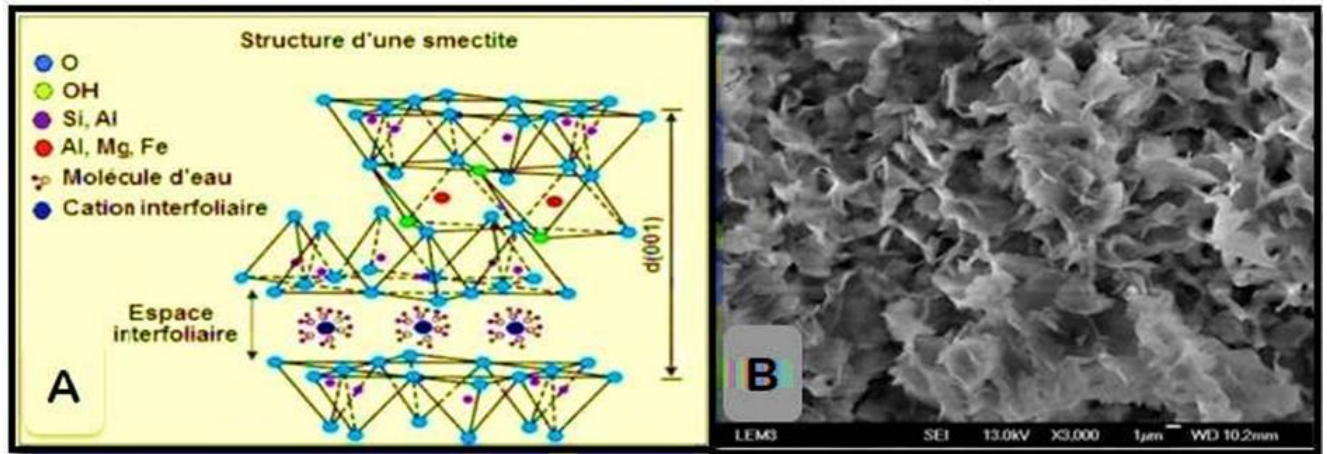


Figure n° I- 7 :(A) Structure d'une smectite, (B) Photo de Montmorillonite [36].

I-5-2-3- Illites

Les illites font partie de la famille des phyllo silicates (2:1). Le feuillet de base est constitué d'une couche d'aluminium octaédrique entre deux couches de silicium tétraédriques. Dans les couches tétraédriques de silicium, un ion Si^{4+} sur quatre est substitué par un ion Al^{3+} . Le manque de charge qui en découle est compensé dans l'espace entre les feuillets par des ions potassium K^{+} qui créent des liaisons solides entre les feuillets [40].

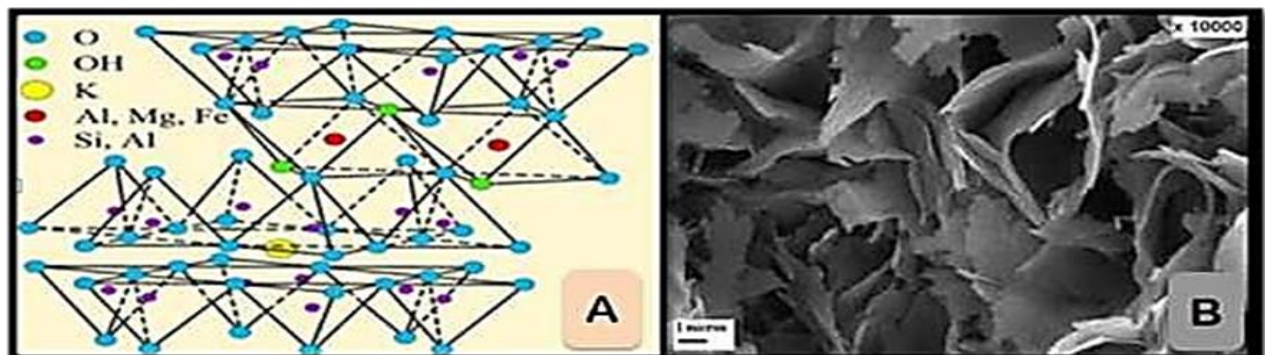


Figure n° I-8:(A) Structure de l'illite, (B) Photo micrographie électronique de l'argile Illite [36].

I-5-2-4-Chlorites

Les chlorites sont des minéraux typiques du métamorphisme. On les trouve, fréquemment, dans les fissures des roches et dans les sédiments récents. Dans les roches sédimentaires, le chlorite riche en fer est issu de l'altération des minéraux ferromagnétiques (pyroxène,

biotite...) (Millot, 1964). Elle a un feuillet d'une épaisseur double de celui de la kaolinite, comprenant une couche octaédrique dite brucitique (la brucite : $Mg(OH)_2$).

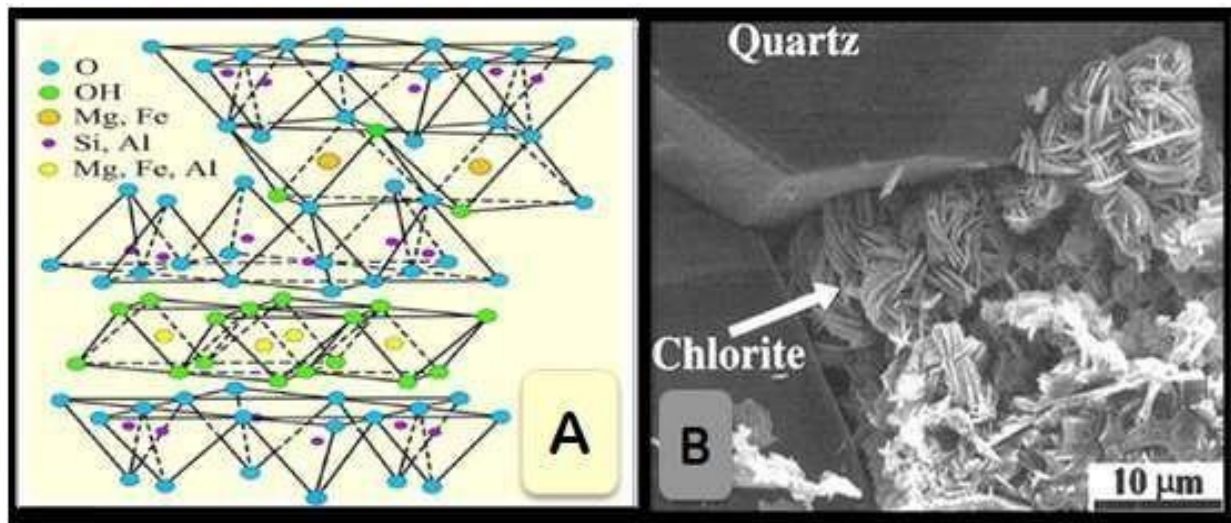


Figure n° I-9:(A) Structure de chlorite,(B) Photo micrographie électronique de chlorite [36].

Les caractéristiques moyennes de ces argiles sont résumées dans le tableau 1.

Tableau n° I- 1 : Caractéristique moyennes de ces argiles.

Nom	Type	Nombre de feuilles par particule	Diamètre d'une particule (μ m)	Epaisseur d'une particule (μ m)	Surface spécifique en m ² /g	C.E.C. en meq /100g
Kaolinite	1 :1	100-200	0.1-4	1-10	10-20	3-15
Smectites (montmorillonite)	2 :1	1	0.1	0.001	700-840	80-150
Illite	2 :1	1-10	0.1-1	0.003-0.01	65-100	10-40
Chlorite	2:1:1	1	0.1	0.005	800	10-40

I-6- Propriété des argiles

Les argiles possèdent des propriétés uniques qui influencent leur comportement dans divers contextes géologiques et géotechniques. Ces propriétés découlent de leur structure minéralogique et de leur composition chimique, et elles jouent un rôle crucial dans la façon dont les argiles interagissent avec leur environnement.

- a) Formes et surfaces spécifiques.
- b) Capacités d'adsorption d'eau et de gonflement.
- c) Capacité d'échanges cationiques

I-6-1- Formes et surfaces spécifiques

Par définition, la surface spécifique (SS) appelée aussi « aire massique » représente la surface totale (AS) par unité de masse (M) et on l'exprime généralement en m^2/g : $S_s = \frac{A_s}{M} (\text{m}^2/\text{g})$.

La taille fine des argiles possède une grande surface spécifique qui dépend de la nature du minéral argileux, la surface des minéraux argileux est supérieure à celles des minéraux de même taille mais de forme différant. montre également que la surface spécifique (SS) dépend de la forme de la particule. On peut remarquer que celle-ci tendance à s'aplatir quand la surface spécifique (SS) augmente [19].

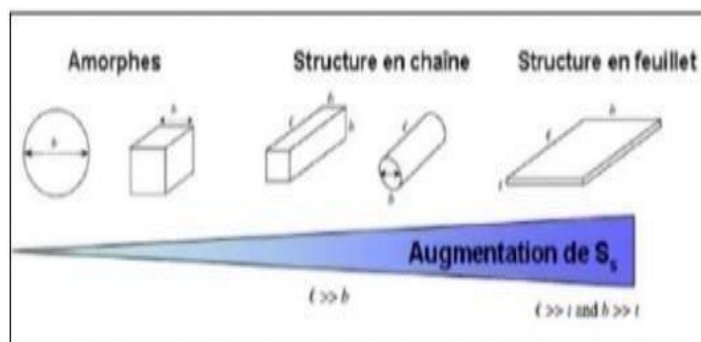


Figure n° I- 10: Influencedelaformedelaparticulesurlasurfacespécifique.

Les propriétés des argiles sont principalement contrôlées par leur surface interne et externe. La surface totale comprend la surface externe, compris entre les particules argileuses, et la surface interne, correspondant à l'espace inter-foliaire.

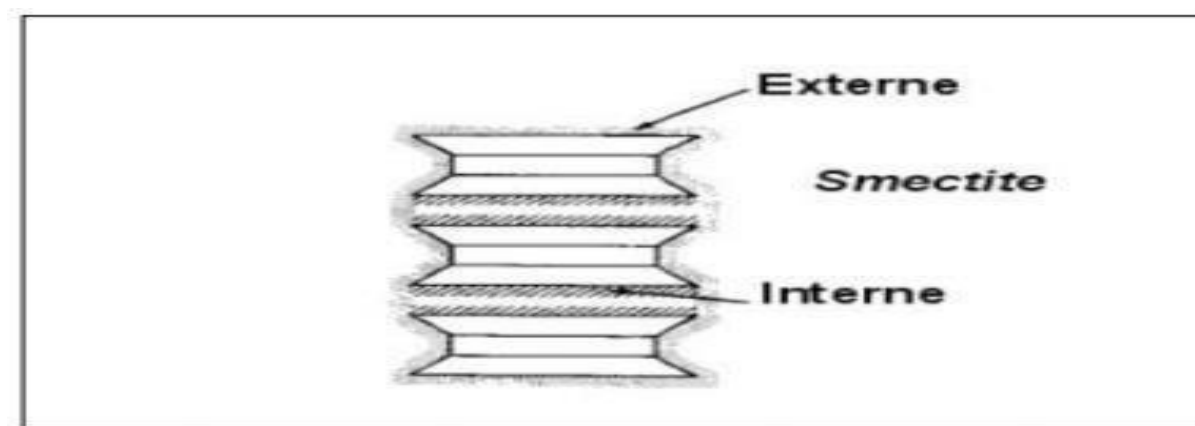


Figure n° I- 11: Surface des particules argileuses (smectite), interne et externe.

I-6-2- Capacité d'échange cationique

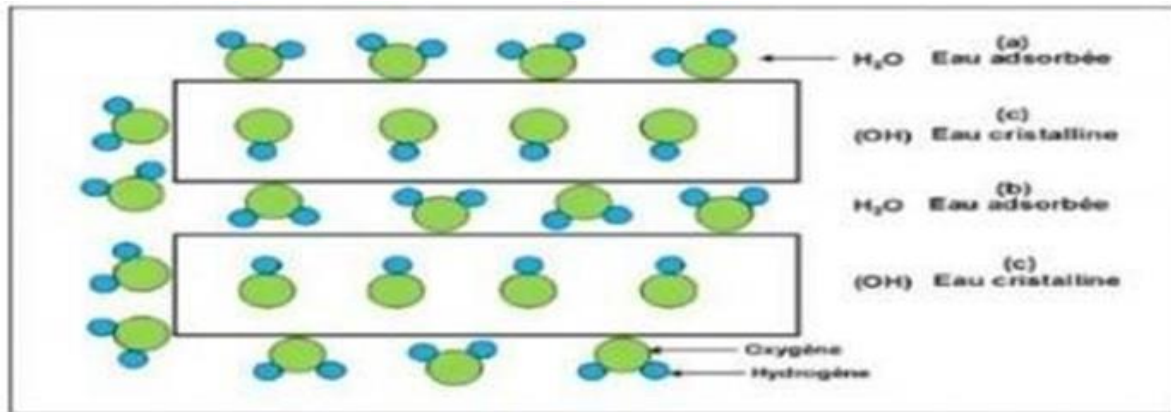
Les argiles ont la capacité de fixer de façon réversible des cations en solution, la capacité d'échange cationique et définie comme étant la concentration totale des sites superficiels disponibles aux cations. Ce paramètre est exprimé en quantité de charge par unité de masse milliéquivalents pour 100g (meq /100g) ou elle s'exprime en centi-mol.kg-1.

Le principe général d'évaluation de la capacité d'échange cationique (CEC) consiste à mesurer la quantité totale fixée d'un cation indicateur introduit en excès dans une suspension argileuse. Cette mesure est souvent réalisée à pH fixe puisque la capacité d'échange cationique est tributaire aussi du pH suite à la présence des groupements silanol et alumineux sur les surfaces latérales susceptible de se protoner ou de se déprotoner [19].

I-6-3- Capacité de gonflement et d'adsorption

Généralement, toutes les argiles possèdent une capacité de former facilement des complexes lamellaires par l'insertion des molécules d'eau ou organique dans l'espace inter foliaire. Ce phénomène est appelé gonflement, le degré de gonflement ou degré d'hydratation varie d'une famille argileuse à une autre [19].

Caractérisent par une capacité d'expansion beaucoup plus importante que celles des autres espèces argileuse. L'incorporation d'eau est réversible à la pression atmosphérique et dépend de la température et de l'humidité relative (la pression de vapeur d'eau) de l'air : plus l'air est humide, plus l'argile pourra incorporer de l'eau jusqu'à sa limite de saturation. La plupart des phyllo silicates possédant de telles propriétés de gonflement sont classés dans la famille de smectites [19].



Figure^o I- 12 : Localisation de l'eau dans les particules argileuses.

- (a) molécules d'eau adsorbées sur la surface d'argile,
- (b) molécules d'eau associées avec les cations dans l'espace inter foliaire,
- (c) eau « cristalline » sous forme d'hydroxyles qui par des hydroxylation forme des molécules d'eau.

I-7-GONFLEMENT DU SOL

Le gonflement des sols argileux est un phénomène qui se développe, en présence d'eau, à l'échelle microscopique au niveau des particules argileuses, et se traduit souvent, malheureusement, à l'échelle macroscopique par des dommages importants sur les ouvrages. Il fait intervenir un grand nombre de paramètres intrinsèques et environnants. Il est la réponse du sol à un gradient de potentiel de l'eau du sol. Il se manifeste d'abord par un écoulement de l'eau au sens de Darcy, dans les gros pores du sol, ensuite par l'hydratation des particules de l'argile.

Ce phénomène est lié à deux paramètres de grande importance :

- 1) la teneur en eau initiale du sol qui exprime l'état de succion du sol et qui contrôle le taux de

- 2) gonflement que ce soit pour les sols remaniés ou intacts.
- 3) la densité sèche initiale ou l'indice des vides, qui mesure la quantité du matériau susceptible de gonfler [19].

I-7-1-Description de phénomène de gonflement

Les sols argileux possèdent la propriété de voir leur consistance se modifier en fonction de leur teneur en eau. Ainsi, en contexte humide, un sol argileux se présente comme souple et malléable, tandis que ce même sol desséché sera dur et cassant. Des variations de volume plus ou moins conséquentes en fonction de la structure du sol et des minéraux en présence, accompagnent ces modifications de consistance. Ainsi, lorsque la teneur en eau augmente dans un sol argileux, on assiste à une augmentation du volume de ce sol, on parle alors de « gonflement des argiles ». Au contraire, une baisse de la teneur en eau provoquera un phénomène inverse de rétractation ou « retrait des argiles » [19].

I-7-2- Nature du phénomène

En général, le retrait/gonflement des sols se caractérise par des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie. Cet aléa ne concerne que certains sols argileux particulièrement en présence de minéraux gonflants. Les sables et les limons sableux présentent également des cycles de retrait et de gonflement suivant les fluctuations de leur teneur en eau, mais d'une amplitude bien plus petite. Ce phénomène est à l'origine des dégâts importants aux bâtis au cours des périodes de sécheresse prolongée.



Figure^o I- 13:Désordres de la structure au cours des périodes de sécheresse [19].

En climat tempéré, les argiles sont souvent proches de leur état de saturation, si bien que leur potentiel de gonflement est relativement limité, elles sont donc éloignées de leur limite de retrait, ce qui explique que les mouvements les plus importants sont observés en période sèche. La sécheresse se traduit par une baisse du niveau des nappes. La tranche la plus superficielle de sol, sur 1 à 2 m de profondeur, est alors soumise à l'évaporation. Il en résulte un retrait des argiles, qui se manifeste verticalement par un tassement et horizontalement par l'ouverture de fissures, classiquement observées dans les fonds de mares qui s'assèchent [31].

I-7-3- Identification des sols gonflants

Pour éviter les sinistres causés par les sols gonflants, il est essentiel de reconnaître ce type de sol. Traditionnellement, les valeurs de limites d'atterberg ou le poids volumique sec ou la teneur en eau naturelle du sol permettent d'identifier ces sols. Le tableau 1.2 donne les différentes méthodes existantes pour classer les sols gonflants [31].

I-7-4- Mécanisme du gonflement

Les matériaux susceptibles de gonfler sous l'action de l'apport d'eau sont les sols argileux naturels, les marnes, les roches argileuses. Le processus de gonflement met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Il dépend aussi de la texture du matériau, c'est-à-dire de l'organisation des plaquettes entre elles [19].

I-7-4-1- Gonflement inter-foliaire et Inter-particulaire

L'analyse minéralogique montre que certaines argiles, pour lesquelles les liaisons inter-feuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins (c'est le cas de smectite telles que la montmorillonite).

L'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches mono-moléculaires, il s'agit alors d'un gonflement Inter-particulaire ou inter-foliaire (Didier, 1972). Il intervient à l'échelle la plus petite de la structure argileuse mais peut présenter une ampleur très importante [19]

I-7-4-2- Gonflement au sens physico-chimique

Il existe d'importantes interactions physico-chimiques entre une particule argileuse et l'eau, généralement illustrées par le modèle de la double couche. Cette théorie permet de quantifier le phénomène de gonflement des sols en fonction des différents paramètres de l'eau et la particule argileuse [19].

I-7-4-3- Gonflement au sens mécanique

Le phénomène de gonflement, de même que le tassement, peut provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau. La théorie de Terzaghi (1931) définit le gonflement comme un déchargement mécanique [19].

I-7-5- Définition des paramètres du gonflement

Les phénomènes physico-chimiques et les mécanismes intervenant à différentes échelles (auxquels s'ajoutent d'éventuelles modifications de la structure du terrain pendant le gonflement) rendent très difficile la caractérisation des paramètres hydromécaniques des sols gonflements. Devant cette complexité, une approche macroscopique paraît plus adaptée en géotechnique. Elle distingue trois notions : la pression de gonflement, le potentiel de gonflement et l'indice de gonflement. Ces notions ne sont pas considérées comme des caractéristiques intrinsèques du matériau gonflant et ne peuvent pas recevoir de définition objective, car elles dépendent des conditions dans lesquelles se déroule le gonflement. Elles sont néanmoins très largement utilisées et ont largement influé sur les procédures d'essais en laboratoire [19].

I-7-5-1- La pression de gonflement (σ_g)

La pression de gonflement (σ_g) d'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, peut être définie comme l'état de contrainte à exercer pour maintenir son volume constant pendant l'imbibition sans distorsion jusqu'à sa saturation complète. Cette définition de la pression de gonflement est la plus usitée mais elle n'est pas la seule [19].

I-7-5-2- Le potentiel de gonflement (ε_g)

Le potentiel de gonflement (ε_g) d'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, est la déformation maximale ($\Delta h/h$) que provoque l'imbibition de cet élément soumis à un état de contrainte nulle ou quasi-nulle jusqu'à sa saturation complète. De

nombreux modèles visant à estimer le potentiel de gonflement sont formulées à partir des limites d'Atterberg et de paramètres qui en découlent. Les tableaux 1.3 et 1.4 donnent quelques exemples de ces estimations [19].

Tableau n° I- 2 : Relation entre le potentiel de gonflement et la limite de retrait [19].

$w_R(\%)$	< 10	10 - 12	> 12
Potentiel de gonflement	Fort	Critique	Faible

Tableau n°I- 3:Relation entre le potentiel de gonflement et l'indice de plasticité [19].

$I_P(\%)$	0 - 10	10 - 20	20 - 35
Taux de gonflement	Faible	Moyen	Elevé

Pour un sol contenant entre 8 et 65 % d'argile, établissent le tableau 1.5 à partir d'un potentiel de gonflement défini comme le pourcentage de gonflement d'une argile compactée à l'optimum Proctor et soumise à une charge de 7 . Ce potentiel est estimé par la formule [19]:

$$\varepsilon_s = 10^{-5} IP^{2.24}$$

Tableau n° I- 4 : Potentiel de gonflement [19].

Potentiel de gonflement	$\varepsilon_s(\%)$	$IP(\%)$
Faible	0 – 1.5	0 – 10
Moyen	1.5 – 5	10 – 20
Fort	5 - 25	20 – 35

Mais le gonflement d'un sol peut être estimé à partir de deux paramètres simultanément [19].
Propose de le relier à la teneur en argile et à l'indice de plasticité [19].

Tableau n° I- 5 : Potentiel de gonflement [19].

$IP(\%)$	$\% < 2\mu m$	Potentiel de gonflement
> 35	> 95	Très fort
20 -35	60 - 95	Fort
18 - 22	30 - 60	Moyen
<18	<30	Faible

Le relie au pourcentage en particules inférieures à 74 μm et à la limite de liquidité [19].

Tableau n° I- 6 : Potentiel de gonflement [19].

%< 74μm	IP (%)	Potentiel de gonflement
> 95	> 60	Très fort
60 - 95	40 - 60	Fort
30 - 60	30 - 40	Moyen
<30	<30	Faible

Enfin, certains auteurs pensent que trois paramètres sont nécessaires pour évaluer le gonflement. La classification de relie le potentiel de gonflement en fonction de la fraction argileuse, de l'indice de plasticité et de la limite de retrait [19].

Tableau n° I-7 : Potentiel de retrait [19].

%< 2μm	IP (%)	w_R (%)	Pourcentage de retrait	Potentiel de retrait
> 28	> 35	<10	> 30	Très élevé
20 – 13	25 – 40	7 – 10	20 - 30	Élevé
13 - 23	15 - 30	10 - 15	10 - 30	Moyen

La classification de l'indice de plasticité, la limite de liquidité et la limite de retrait [19].

Tableau n°I- 8 : Potentiel de gonflement [19].

Potentiel de gonflement	IP (%)	w_R (%)	W_L (%)
Faible	> 18	> 15	20 – 35
Moyen	15 – 25	10 - 15	35 – 50
Fort	25 - 35	7 - 12	50 – 70

I-8- Conclusion

Les argiles sont généralement composées de structures tétraédriques et octaédriques. L'ordre d'empilement de ces structures et les liaisons intra-atomiques nous permettent de distinguer les différents types de minéraux argileux. La majorité des dépôts d'argiles sont influencés par le comportement de trois principaux groupes de minéraux argileux (kaolinite, montmorillonite, illite).

Concernant le gonflement des sols argileux, il semble que nous sommes confrontés à un phénomène très complexe. Ce phénomène survient suite à l'interaction entre le matériau argileux et l'eau, à différentes étapes, ce qui entraîne des changements dans plusieurs de leurs mécanismes physiques et chimiques.

Chapitre II

II-1 Introduction

Les constructions de génie civil peuvent présenter des dégradations et des signes de vieillissement dont les causes peuvent être diverses que multiples. Les travaux d'entretien, de réparation ou des projets de confortement sont nécessaires pour une rénovation et une restitution du niveau de service. Les opérations de réparation et/ou de renforcement doivent être précédées par un diagnostic dont l'expertise formule des questions sur l'état général de l'ouvrage et l'endroit des dégradations afin d'arrêter les causes probables du dommage[08]. Le diagnostic est donc une démarche spécifique pour la caractérisation de l'état de l'ouvrage et les matériaux constitutifs. Il consiste à identifier les causes en remontant l'enchaînement dans un ordre logique. C'est dire que tout dommage a un effet et une cause directe ou lointaine selon le cheminement logique : dommage-effet-cause directe-cause lointaine. Le diagnostic doit adopter un phasage en respectant des étapes d'investigation où la rigueur et l'observation, direct, la plus détaillée possible, des dégâts permettent de catégoriser les altérations visibles.

Selon le dictionnaire Larousse, la pathologie est l'étude des maladies et des effets morbides qu'elle entraîne. Selon les normes françaises (N.F.1.), la pathologie est la « Science des causes, des symptômes et de l'évolution des maladies ». Dans le domaine du bâtiment, la « Pathologies des ouvrages en béton » est l'étude des problèmes de désordres liés aux matériaux, à la conception, à l'exécutionect.) Une étude de diagnostic de pathologie d'un bâtiment est un processus étalé sur plusieurs phases : l'observation accompagnée d'un relevé en détail tous les désordres observés et l'analyse des symptômes et de leur processus de formation. Le diagnostic doit mettre en évidence les causes probables et les risques d'évolution du désordre dans le but de préconiser des remèdes ou traitements curatifs.

Ce chapitre est une synthèse d'études de cas de pathologies de bâtiments dans la ville de Saïda. Il s'agit de procéder à un classement des différents désordres affectant un échantillon de bâtiments à l'échelle de Saïda. Ce classement a pour objectif de proposer une typologie de pathologies des ouvrages caractérisant la ville de Saïda. L'analyse des causes de leur manifestation, leur interprétation et la caractérisation du sol d'assise des fondations est démarche à la base de cette catégorisation des principales pathologies affectant les constructions dans la ville de Saïda.

II-2- Présentation sommaire de la ville de Saïda

II-2-1 - Situation géographique

La ville de Saïda se situe au nord-ouest de l'Algérie, entre le début de la steppe et la limite de Chott Chergui. Le territoire de la Wilaya est limité au Nord par la wilaya de Mascara, à l'Est par la wilaya de Tiaret, au Sud par la wilaya d'El-Bayad et à l'Ouest par la wilaya de Sidi-Bel-Abbès. La ville de Saida, chef-lieu de la Wilaya du même nom, est située presque au milieu de la wilaya. Elle est positionnée entre « Djebel Abdelkrim » à l'est et « Djebel Sidi-Yousef » à l'Ouest. Elle a pour altitude moyenne 800 mètres[29].

I-2-2 - Contexte géologique

La ville de Saida se situe sur les formations géologiques du quaternaire suivantes :

➤ Le Plio-Quaternaire

Ces formations géologiques sont constituées de conglomérats d'argiles, de limons de croûtes calcaires. L'ensemble est argileux et vraisemblablement peu perméable.

➤ Le Kimméridgien

C'est une formation est très peu représenté dans la région, elle est constituée d'une série de dolomies construite en gros bancs surmontant les assises dolomitiques gréseuses du lusitanien appelées « Dolomies de Tlemcen ».

➤ Les argiles vertes de Saida du Collovo-oxfordien

Cette formation est constituée d'argiles dit " Argiles de Saïda " et comportent quelques Bancs gréseux. Elle est très répandue dans la vallée de l'Oued Saïda. Elle a une épaisseur très importante de l'ordre de 250 m et peut atteindre par endroits 300 m.

II-2-3 - Contexte sismique

Les principales failles reconnues dans la région de Saïda ont une forme générale allongée dans la direction Nord-Sud dans la vallée de Saïda et Sud-ouest-Nord-est sur le reste de la région. Les directions des failles secondaires Nord-Sud sont conjuguées avec d'autres failles orientées Nord-Ouest, Sud-est. Ce réseau de failles découpe la région en de nombreux panneaux parallélépipédiques à la faveur de deux accidents subparallèles orientés Nord, Nord-est et Sud Sud-ouest. Ces mouvements verticaux du socle se sont produits durant le plissement de la chaîne tellienne et ont provoqué d'importantes fractures fréquemment associées à des circulations de fluides. Le tableau de la classification sismique des wilayas et communes de l'Algérie des règles parasismiques Algérienne (RPA 2024), la wilaya de Saïda est classée en zone sismique I, une zone de faible sismicité[25].

II-2-4 - Aspect Hydro-climatique

La Wilaya de Saida située dans les hautes plaines oranaises constitue un domaine intermédiaire par rapport à l'Algérie caractérisé par un climat méditerranéen au littoral et désertique au sud. Les méthodes de classification du climat, concordent à attribuer un climat semi-aride à cette zone marquée par une sécheresse élevée en été et un climat pluvieux et froid en hiver.

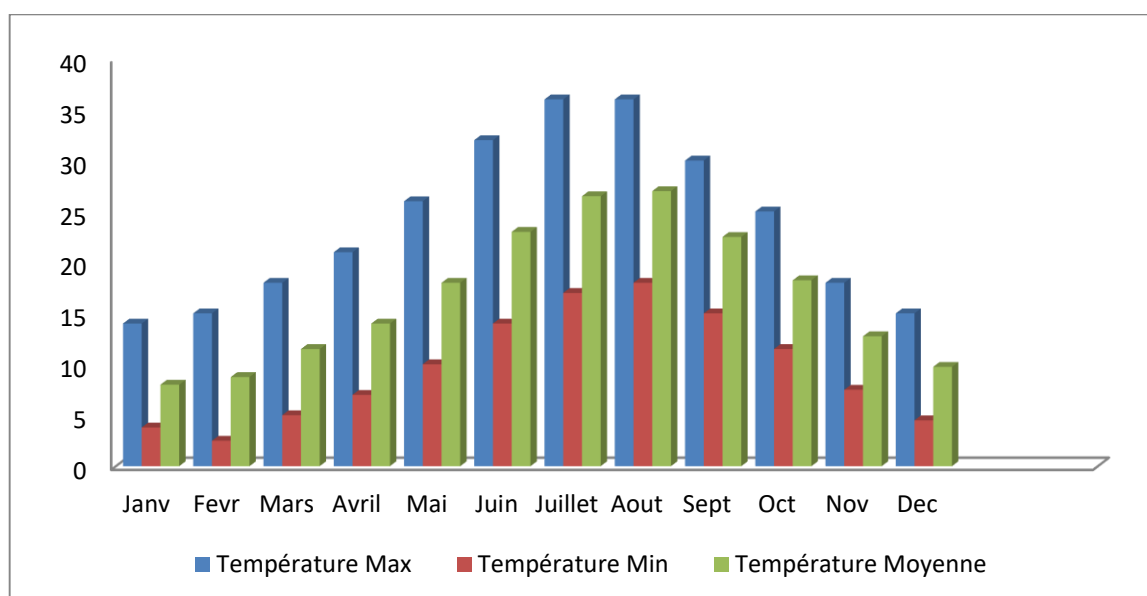


Figure n°II-14:Température Moyennes Mensuelle, Saida pour la période 1983-2012 [24].

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

Une augmentation de la température peut améliorer la résistance d'une argile en réduisant la répulsion électrique entre les particules, sous l'effet de la chaleur on provoque un écoulement de l'eau interstitielle due au gradient thermique appliqué.

La wilaya de Saïda reçoit en moyenne une pluviométrie annuelle de l'ordre de 348 mm. La partie Nord de la wilaya appartient au semi-aride frais et la partie Sud à l'aride froide point de vue bioclimatique. Le tableau ci-dessous montre la pluviométrie mensuelle de l'année 2014 mesurée en mm

Tableau n°II- 9 : Pluviométrie moyenne mensuelle, Saïda 2014 [24].

Année	Jan	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
421	56	39	47	44	38	16	5	6	28	47	39	56

L'indice d'aridité annuel qui caractérise le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, Guyot, 1997 [2], est déterminé comme suit :

$$I = \frac{P}{(T+10)}$$

Avec : P : précipitations annuelles en millimètres.

T:température moyenne annuelle en °C.

Pour la précipitation annuelle de 421 mm et une température moyenne annuelle de 16,7°C. L'indice d'aridité de la région de Saïda est de 15,76, ce qui attribue à la région à un climat semi-aride sec avec un écoulement temporaire et une tendance à la sécheresse. Cette classification du climat est donnée dans le tableau ci-dessus, l'indice de 20 représente la limite de la sécheresse [23].

Tableau n°II-10 : Classification des climats selon la valeur de l'indice d'aridité (Guyot, 1977 cité par [22]).

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Hyper-aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 55$	Humide

II-2-5 - Contexte géotechnique

La ville de Saïda construite au confluent de deux oueds (Oued Saïda et Oued El-Ouakrif) s'est développée au cours de son histoire sur des terrains problématiques d'un point de vue géotechnique. Les extensions urbaines Nord et Est se sont faites sur des sols argileux dont l'impact en termes de dégradations sur les constructions a pris de l'ampleur depuis plus de vingt années. Certains ouvrages ont atteint un état de dégradation très avancé à tel point qu'ils ont été évacués en urgence (CEM Medjadji, CEM Brachmi Mustapha). Les expertises effectuées attestent des désordres graves liés au comportement du sol d'assise des fondations. Depuis 2003, la ville de Saïda a bénéficié dans le cadre des études d'urbanisme de plusieurs campagnes de reconnaissance de sol soit 67 rapports géotechniques élaborés par différents laboratoires.

L'analyse statistique des résultats géotechniques illustrés dans les graphiques ci-dessus conclue à la prédominance des sols fins (63%) et des sols marneux (51 %), d'argile (36 %) et parfois des sables fins (20%). Ils sont souvent plastiques voir très plastiques (26%), présentant un potentiel de tassement et de gonflement assez marqué [36].

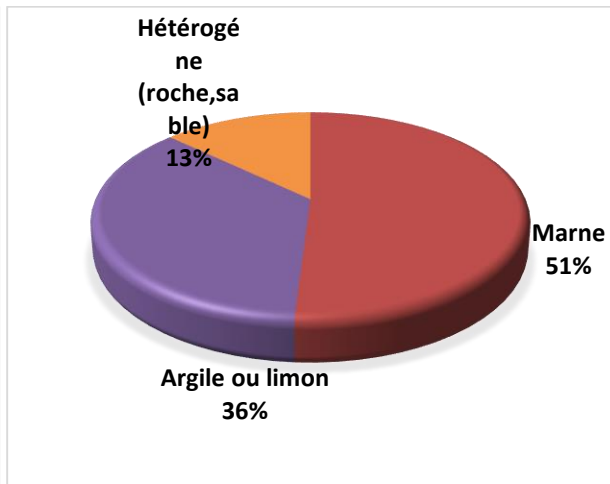
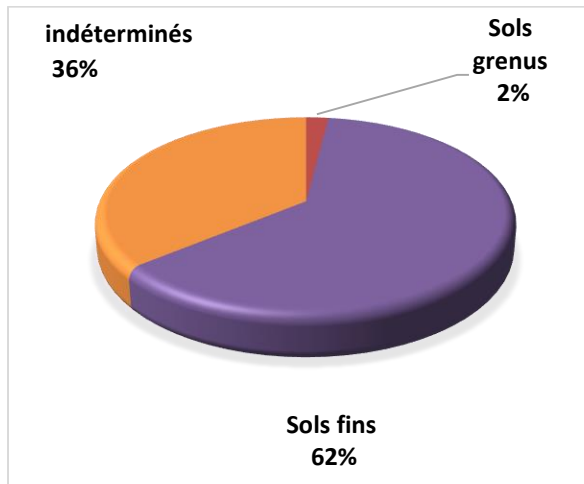


Figure 15:Type de sol selon la granulométrie. **Figure 16:**Type de sol selon la lithographie.

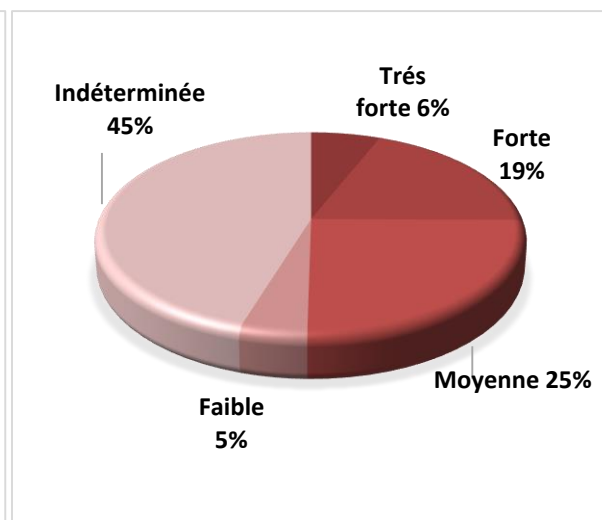
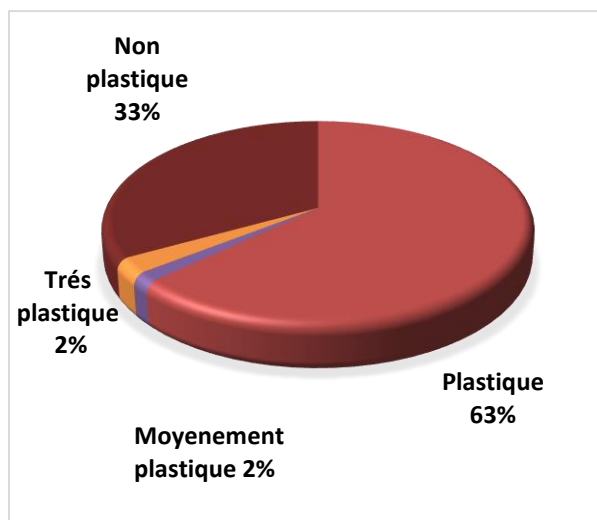


Figure 17: Type de sol selon le degré de plasticité.

Figure 18:Type de sol selon la sensibilité au gonflement.

II-3-Evaluation des désordres observés

La description des désordres observés a nécessité la mobilisation d'un vocabulaire technique précis et normalisé [35] pour éviter toute confusion.

- **microfissure** : fissure dont l'amplitude est inférieure à 0,2 mm ;

- **fissure** : ouverture linéaire de 0,2 mm à 2 mm ;

- **lézarde** : fissure importante de plus de 2 mm ; devant d'un désordre de cette ampleur ce terme est employé pour qualifier la fissure qui apparait entre deux corps de construction.

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

- ***faïençage*** : il caractérise de fines fissures formant un maillage à la surface d'un enduit ou d'un dallage ;

- ***fissure traversante***: elle apparait dans un mur et dans une poutre et s'étend sur la paroi d'une cloison ou d'une poutre ;

- ***fissure infiltrante***: une fissure est dite "infiltrante" lorsqu'elle s'accompagne d'une pénétration d'eau à l'intérieur de l'ouvrage.

L'examen visuel des parties accessibles des bâtiments a permis de relever des désordres multiples d'importance diverse :

- Affaissement du dallage à l'extérieur suite au tassement important de sol en plusieurs endroits,

- Ouverture de joint de dilatation entre blocs.

- Cisaillement de la maçonnerie en plusieurs endroits et bâtiments,

- Fissures éparses au niveau des façades extérieures,

- Fissures diverses (inclinées, horizontales et verticales) sur les cloisons de séparation et aux endroits des ouvertures (portes et fenêtres),

- Eclatements des enduits,

- Dislocation entre les panneaux des cloisons et les portiques de l'ossature (poteaux, poutres, linteaux),

- Effritement du béton des longrines,

- Traces d'humidité sur les murs,

- dégradation de l'étanchéité,

- Gargouilles et décentes obstruées, absents ou mal entretenues,

- Espace extérieur arboré et envahis par une végétation abondante.



II-3-1-Désordres observés à l'extérieur et sur les façades des bâtiments

- **ITE DE SAIDA** : Il s'agit d'un projet construit, durant les années 1970. Il est situé à l'intérieur de l'ancien tissu urbain de la ville de Saida.
- **SIEGE DE L'URSA SAIDA** : Il s'agit d'un siège construit en R+1 au début des années 90. Il est situé à la cité des 400 logements et à l'intérieur du tissu urbain de la ville de Saida.
- **ECOLE PRIMAIRE REMAS KERROUM** : Il s'agit d'une école primaire construite les années 1970 avant le siège de l'URSA décrit précédemment et avec lequel il fait mitoyenneté.
- **EX –BIBLIOTHEQUE** : est située à cite NASR au Nord de la ville de Saida. L'ouvrage a été réalisé vers la période de l'année 2002-2004.
- **SIEGE DE LA CACOBATPH** : siege a été réalisé au début des années soixante-dix (1972), il a été inauguré en 1974. Il est situé de la ville de Saida.
- **CEM BRACHEMI MOUSTAPHA** : Le site est situé au Nord Est par rapport au centre-ville de Saida à environ 1.50 km du centre-ville.




- l'apparition defissures horizontales et diagonales dans les murs et au niveau des baies,

- détérioration de l'enduit des façades




Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

N°	Photo	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha – Saïda		
01		Fissure lézarde importante autour des baies sur murs extérieurs avec éclatement des enduits et cassure des pièces de briques.
02		Fissures éparses (lézarde, horizontale et en forme de X sur mur extérieur.
03		Fissures horizontale et verticale sur mur extérieur.



Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda



04		<p>Traces d'infiltration des eaux à travers le joint sismique mal matérialisé et altération des enduits et écaillage de la peinture.</p>
SIEGE CACOBATP		
05		<p>Fissure dit de plancher bas au niveau du RDC.</p>
06		<p>Fissure dit de plancher supérieurs.</p>

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

07		Fissure diagonale franche sur le mur de clôture avec risque de balancement.
BIBLIOTHEQUE CENTRALE UNIVERSITE DE SAIDA		
08		Fissures visibles sur murs de la façade avec dislocation de la maçonnerie.
09		Fissures diverse (horizontale, diagonale et verticale) le long du mur de clôture.
ITE DE SAIDA		

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

10		Fissure oblique franche dite fissure d'infiltration sur mur de façade.
BUREAU D'ETUDES URSA SAIDA		
11		Fissures verticales et en forme de croix sur mur de façade avec écaillage de la peinture.
ECOLE PRIMAIRE REMAS KERROUM		

12		Ouverture du joint de rupture. Fissure très importante de l'ordre de 02cm sur une cloison en maçonnerie
13		Fissures en croix sur un pignon à l'entrée du bâtiment et traces d'infiltration d'eau sur murs extérieurs.

II-3-2-Désordres observés à l'intérieur des bâtiments




- fissures diagonales, horizontales et verticales dans les cloisons de séparation ;
- fissures diagonales au niveau des angles des portes et fenêtres ;
- traces d'infiltrations des eaux pluviales à travers les appuis de fenêtres et la terrasse ;

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda




II-3-2-1-Fissures apparues dans les cloisons intérieures

N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha – Saïda		
01		Fissures obliques sur la totalité de murs intérieurs.
02		<p>Fissuration horizontale et verticale sur cloisons.</p> <p>Eclatement des enduits et cassures des pièces de briques.</p>
SIEGE CACOBATPH		

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

03		<p>Fissures diagonale, verticale et horizontale sur murset au droit de l'interface maçonnerie/ éléments structuraux en béton armé) avec éclatement de l'enduit.</p>
04		<p>Fissures obliques sur toute la paroi entre le mur et son support à la jonction et dans un des joints horizontaux de la maçonnerie.</p>
05		<p>Fissures suivant la jonction des murs et éléments structuraux (poutres, poteaux) avec décollement entre le mur et son support.</p>




Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

06		Fissures inclinées en plusieurs endroits des cloisons suivant les joints des blocs de maçonnerie.
07		Fissures verticales au niveau de l'interface maçonnerie en briques et éléments structuraux en béton armé.
ITE DE SAIDA		
08		Fissure de forme oblique, horizontale et verticale sur cloisons intérieurs



BUREAU D'ETUDES URSA SAIDA		
09		Fissures verticale et horizontale sur cloisons intérieurs. Fissure oblique en tête des cloisons intérieures
10		Fissures horizontales en têtes et à la base de cloisons intérieures

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

II-3-2-2-Fissures dans les angles des ouvertures





N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha		
01		Fissures inclinées visibles dans les angles des fenêtres et portes (refend).
		
SIEGE CACOBATPH		
02		Fissure inclinée dans les angles des fenêtres (refend). Il s'agit de fissures vivantes après réparation.

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

03		<p>Fissure horizontale et double fissure inclinée dans les angles des fenêtres (refend). Il s'agit de fissures vivantes après réparation.</p>
BIBLIOTHEQUE CENTRALE UNIVERSITE DE SAIDA		
04		<p>Éclatement de l'enduit et de la maçonnerie au niveau du linteau de la fenêtre.</p>



Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

II-3-2-3-Infiltrations des eaux et traces d'humidité




N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha		
01		Traces d'infiltration des eaux au niveau du plafond et sur les murs et à l'endroit des gargouilles avec altération des enduits et écaillage de la peinture.
		
SIEGE CACOBATPH		
02		Traces d'humidité sur mur extérieur causées par l'absence de descentes d'eau pluviale de dégradation d'étanchéité. Tuyauterie défectueuse et fuite d'eau sur les murs.
		

II-4-Pathologie de béton

Le béton armé est un matériau de base de structures largement utilisé depuis plus d'un siècle, aussi bien dans le génie civil que dans le bâtiment. Il peut se dégrader sous l'influence de causes liées à sa qualité originelle ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Les manifestations extérieures des désordres affectant un ouvrage en béton armé sont souvent des fissures, des désagréations et des épaufrures. Les causes sont multiples et peuvent se résumer comme suit : déplacements des coffrages, ségrégation du béton frais, décoffrage prématuré, retrait lors du durcissement, absorption d'eau par le béton, enrobage insuffisant, corrosion des Armatures ...etc. [24].

N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha		
01		Fissure diagonale de poteau et effritement de béton.
02		Corrosion des aciers des chainages bas et effritement de béton au niveau d'une longrine.
SIEGE CACOBATPH		

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

03		Traces d'humidité et effritement du béton au niveau d'une longrine.
04		effritement du béton.
ECOLE PRIMAIRE REMAS KERROUM		
05		Cisaillement d'une longrine avec corrosion des aciers et effritement de béton



Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

II-4-1- Affaissement et dégradations de dallage (intérieur et extérieur)



N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha		
01		Affaissement par endroit du dallage et dislocation du revêtement du sol.
02	 	Tassement sous dallage et dégradation du solin périphérique

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda




03		Tassement sous dallage et basculement des escaliers
SIEGE CACOBATPH		
05		Gonflement des carreaux de revêtement du plancher à l'intérieur du bâtiment.
06		Affaissement et dégradation des carreaux de revêtement à l'extérieur du bâtiment.
07		Tassement sous dallage et dégradation des escaliers.

08		<p>Affaissement du dallage en béton et du drain des eaux pluviales.</p>
BIBLIOTHEQUE CENTRALE UNIVERSITE DE SAIDA		
09		<p>Affaissement important du dallage à l'intérieur du bâtiment.</p>

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

10		<p>Absence de dallage en béton sous la maçonnerie des éléments saillants.</p>
11		<p>Tassement de terrain et affaissements de la chaussée autour du bâtiment.</p>

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

12		Tassement important sous dallage et détérioration des escaliers.
13		Tassement sous dallage et basculement des caniveaux des canalisations.
ITE DE SAIDA		
14		Déformation du dallage périphérique et du revêtement de chaussée.
BUREAU D'ETUDES URSA SAIDA		

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

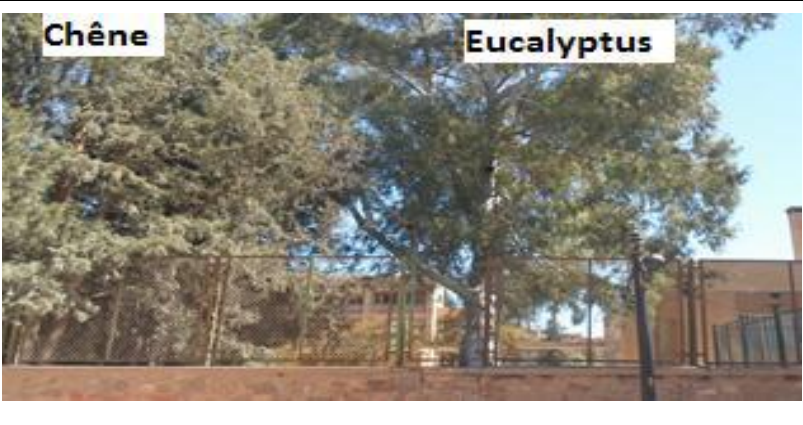
15		Léger affaissement du dallage périphérique.
----	--	---

II-4-2- Présence abondante de végétation nuisible

N°	Photos	Légende
CEM BRACHEMI Mustapha		
01		La présence des végétations et Les racines des arbres.

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

SIEGE CACOBATPH		
02		Effondrement de mur de la clôture causé par le développement en profondeur des racines d'arbres.
BIBLIOTHEQUE CENTRALE UNIVERSITE DE SAIDA		
03		la présence des espaces verts et réparties sur une grande surface
ITE DE SAIDA		

04		Arbres de hautes tiges autour des bâtiments touchés par les dégradations.
----	--	---

II-5- Description et interprétation des dégradations

Les dégradations relevées sont des fissures diverses d'importance inégale. Les murs extérieurs et intérieurs sont construits en maçonnerie (briques et parpaings) dans tous les cas étudiés. On distingue plusieurs types des fissures :

II-5- 1-Les fissures obliques d'inclinaison de (45°)

Les fissures obliques sont généralement provoquées par des efforts multi-tensionnels. Elles résultent de tensions structurelles fortes, suffisantes pour fendre des éléments de gros œuvre.

Ces fissures dit lézardes sont observées à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments suivant les joints des blocs de maçonnerie. Elles sont de l'ordre du millimètre et peuvent atteindre un centimètre et plus. C'est une longue fente suit en zigzag une direction généralement franche dans la maçonnerie ; Ce type de fissure intéresse en général toute l'épaisseur de la paroi concernée et elle peut être « infiltrante » et permettre l'infiltration de l'eau de pluie ou de ruissellement. Elle traduit donc une déformation de l'assise du mur en un point ou une zone précise. Elles sont appelées aussi fissures traversantes car elles traversent le mur de part en part et mesurant généralement plus de 2 mm de large.

Lorsque le mur est constitué de blocs maçonnés, les fissures suivent les joints en prenant l'allure des escaliers caractéristiques suivant une inclinaison de 45°. Les blocs de béton ou des briques sont des éléments de construction moins résistants que le béton banché, notamment vis-à-vis des efforts de traction. Les joints entre les blocs ou les briques constituent autant de lignes faibles où se produisent les fissures. Une fissure profonde peut être inquiétante et doit

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

faire l'objet de suivi et de contrôle afin d'éviter un sinistre. En fait, elle souvent imputable à un affaissement du sol des fondations.

Ces fissures sont comparables à celles résultant de l'effort tranchant d'une poutre. Elles apparaissent dans les maçonneries portées espar des supports trop flexibles ; elles sont parfois accompagnées d'un décollement entre le mur et son support soit à la jonction, soit dans un des joints horizontaux de la maçonnerie. Dans le cas des murs extérieurs, il existe très souvent à l'étage inférieur un mur qui empêche le plancher défléchir, celles d'allure horizontale provoquées par l'appui des planchers sur les murs.

Les fissures de cette ampleur sur la façade du bâtiment engendrent systématiquement de désordres à l'intérieur du bâtiment. En effet, les murs de doubles parois bloquées entre les menuiseries des ouvertures extérieures (fenêtres et portes) elles-mêmes solidaires du gros œuvre. Aussi, l'allure inclinée des fissures laisse à penser qu'on est en présence d'un double mouvement des murs, c'est-à-dire un déplacement dans le sens vertical comme conséquence d'un tassement et une rotation comme réponse d'un basculement. De ce fait, il est normal que des fissures apparaissent dans les refends de séparation. À la fissuration des façades répondra donc la fissuration des cloisons, d'autant plus si elles sont construites par des briques creuses revêtus de plâtre. Outre la fissuration des murs, il est constaté le blocage et le mauvais fonctionnement de la menuiserie extérieure et intérieure compte tenu du tassement du sol de fondations.

Un mur traversé par des fissures obliques subit presque toujours les effets d'un tassement du sol d'assise. Une fissure avec une inclinaison de 45° est la conséquence directe d'un tassement différentiel. Elle traduit soit un mouvement du sol d'assise des fondations, soit une insuffisance ou une rupture 12 de chaînage. Les fissures consécutives à un tassement excessif du sol d'assise des fondations d'un mur font donc partie de cette catégorie.

II-5- 2-Fissures horizontales (180°)

Les fissures horizontales ou verticales ont généralement des ouvertures modestes de l'ordre du millimètre. Elles sont liées aux phénomènes dits de retrait ou de dilatation excessifs des matériaux. Elles peuvent apparaître en partie d'une paroi et le plus souvent à la jonction de deux éléments constitutifs de l'ouvrage : entre planchers et mur notamment, en extrémité de poutre ou d'acrotère de terrasse. C'est une fissure dit de plancher. Elle ne compromet pas la

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

solidité de l'ouvrage. Ce type de fissures résulte d'une rupture en traction du mur. Elles peuvent aussi résulter d'un tassement de terrain ou suivent la déformation excessive d'une poutre porteuse et la dilatation d'un acrotère. Sur les façades, les fissures dites de planchers sont liées à un défaut de portance des fondations pourront aussi avoir une allure horizontale lorsque l'angle de la structure s'enfonce. La fissure apparaît alors au niveau du soubassement, sous l'arase du dallage. C'est la conséquence de sollicitation de moment fléchissant.

II-5- 3-Fissures verticales (90°)

Les fissures verticales sont visibles notamment au niveau de l'interface maçonnerie en briques et éléments structuraux en béton armé. C'est généralement une fissure fine, mesurant entre 0,2 et 2 mm de largeur. On peut la trouver de haut en bas, qu'elle soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Sur les façades maçonnées en briques ou en pierre, elles sont souvent la conséquence de mouvements du sol de (tassements différentiels) ou de malfaçons, de dilatation, de variations climatiques. A l'intérieur, sur les murs en maçonnerie qu'ils soient porteurs ou des cloisons de séparation revêtu de plâtre ou ciment, les fissures verticales sont caractéristiques soient de contraintes qui s'exercent sur la structure soient de la fatigue des matériaux.

Les microfissures horizontales ou verticales sont généralement des ouvertures modestes de l'ordre du millimètre. Elles sont liées aux phénomènes dits de retrait ou de dilatation excessifs des matériaux. Elles peuvent apparaître en partie d'une paroi et le plus souvent à la jonction de deux éléments constitutifs de l'ouvrage : entre planchers et mur notamment, en extrémité de poutre ou d'acrotère de terrasse. C'est une fissure dit de plancher qui ne compromet pas la solidité de l'ouvrage.

II-5- 4-Fissures autour des ouvertures

Les fissures autour des angles des ouvertures peuvent avoir plusieurs origines : elles peuvent être la conséquence de la déformation de l'ouverture (carrée ou rectangle parfait) comportant des angles droits en devenant un parallélogramme. Les fissures s'ouvrent le long des bissectrices des angles obtus. Elles apparaissent suite à la dilatation d'une terrasse ou la défaillance des fondations. Elles peuvent aussi résulter d'un retrait des matériaux constitutifs de la façade, voire du seul enduit de façade.

II-5- 5-Les fissures affectant les enduits ou revêtement minces

À la différence des fissures précédentes, les fissures des enduits et revêtements à base de mortiers ou de résines ne résistent pas à l'ouverture d'une fissure sur leur support. Le revêtement 'adhérent mis sur une façade se fissure lorsque leur support va lui-même subir une fissuration. Les enduits peuvent aussi se fissurer sans que leur support se fissure et se décolle le long des lèvres des fissures. La fissuration d'un enduit peut avoir aussi un effet sur l'étanchéité de la façade. La fissuration dans ce cas ne résulte pas de la fissuration du support mais elle le plus souvent la conséquence d'un retrait excessif qui se traduit par la contraction d'un matériau provoquée par l'élimination de l'eau de gâchage excédentaire (bétons, enduits).

Les tensions internes provoquées par les retraits ont pour effet soit de réduire les dimensions extérieures des matériaux, soit de les déformer, soit de provoquer leur rupture. Le retrait des bétons et mortiers de ciment commence par un retrait plastique (légère contraction par évaporation, dès la mise en place) ; puis intervient le retrait hydraulique, élimination d'eau de gâchage excédentaire, qui se poursuit de façon décroissante pendant longtemps de retrait que sa concentration en ciment est importante.

La fissuration de retrait d'un enduit pourra traduire par un faïençage superficiel discret ou par un réseau de fissures plus ouvertes. Les fissures de retrait peuvent donc prendre des formes multiples et il est en général aisé de distinguer les fissures résultantes d'un mauvais comportement des enduits des fissures franches, consécutives à la fissuration du support. Le détachement exagéré de l'enduit des murs extérieurs de la façade montre que ce type de dégradation est le résultat des tassements de la structure.

II-6-Tassement et affaissement des dallages

L'affaissement est un phénomène naturel ou anthropique. Ils peuvent être lents et progressifs et peu perceptibles. Leur processus peut se dérouler donc sur plusieurs années et les manifestations des signes sous forme de fissures sur les constructions ne s'observent que lorsque les dégâts deviennent importants. Les principales causes d'affaissement sont dues à l'assèchement de l'argile, l'inondation, les sols trop mous et enfin la mauvaise conception.

Chapitre II : Quelques aspects de pathologies des sols à Saïda

Les affaissements se produisent lorsque le sol ou le sous-sol se déplace vers le bas ou s'effondre sous l'effet de différents phénomènes de tassements. Les principaux signes d'un affaissement de terrain sont la formation de fissures dans le sol ou sur les bâtiments proches. Les aménagements extérieurs tout comme intérieurs peuvent subir les effets des mouvements verticaux des tassements. À l'intérieur, le revêtement en dalle de sol s'est disloqué et a craqué en certains endroits. L'affaissement de dallage se caractérise par des vides sous plinthes, des fissures sur cloisons, des fissures de dalles, et parfois des fissures à la liaison entre les cloisons et le plafond.

À l'extérieur des bâtiments, il est observé au niveau des dallages en béton autour de la périphérie des bâtiments ou au niveau de la chaussée. Le dallage en béton (solin périphérique ou allée bétonnée) étant un ouvrage léger et dont la réalisation doit respecter les règles de réalisation de dallage sur terre (hérissonnée en pierres sèches, compactage...etc.). Le dallage autour de la bibliothèque centrale (université de Saïda) est posé à même le remblai, les premiers signes d'affaissements apparaissent alors pour connaître un stade de dégradation aggravé. Ce type de dégradation est imputable au tassement du sol notamment le remblai insuffisamment décapé et mal compacté. La dégradation du réseau de drainage amplifié de surcroît l'affaissement par l'infiltration des eaux accidentelles ou fortuites des pluies. L'humidification du sol favorise alors le mouvement des sols sensibles à l'eau.

II-7-Conclusion

L'étude des pathologies des constructions à l'échelle de la ville de Saïda a mis en évidence l'existence des ouvrages présentant des dégradations superficielles, des déformations et des dégradations d'ordre structurel. Les fissures affectent partiellement ou totalement la surface des murs en maçonnerie et on l'observe, à l'extérieur et l'intérieur des bâtiments avec de différentes traces, et d'ouvertures variables (micro fissures, fissures, lézardes. Ces fissures sont les manifestations de tensions subies par le bâtiment au cours de son exploitation.

Les désordres constatés sont un phénomène fréquent dans le bâtiment qu'il faut prendre particulièrement au sérieux. En effet, les réparations sommaires effectuées sur certains bâtiments (rebouchage des fissures, peinture, carrelage...etc.) ont montré que les fissures sont toujours actives. L'apparition de nouvelles fissures conduit à mieux appréhender la pathologie et d'en déceler la cause. affectant la maçonnerie peuvent être classées en deux catégories selon qu'elles résultent d'un défaut de résistance mécanique de l'ouvrage ou bien qu'elles affectent les autres fonctions de la paroi en maçonnerie mais ne mettent pas en cause la solidité de l'ouvrage.

Chapitre III

III-1- Introduction

Les ouvrages en génie civil sont sujets de comportements prévisibles. Il faut connaître les causes de la pathologie afin d'en limiter la survenance de désordres. L'interprétation des désordres et pathologies du sol est un exercice difficile, l'observation et le bon sens sont des éléments déterminant pour fonder une première approche de la pathologie. Le diagnostic consiste à identifier les causes à l'origine des dégradations visibles en remontant l'enchaînement dans l'ordre : dommage-effet-cause directe-cause lointaine. S'il est possible de déterminer la cause immédiate d'un désordre dès la première observation, il arrive que la cause puisse être lointaine en appliquant la méthode de la vérification des hypothèses possibles. En variations indéterminées sans cause apparente ou relation de cause à effet. Il est nécessaire de savoir si le dommage a pour origine un phénomène passé ou s'il est en train de se produire sur le moment ; si l'on a affaire à une fissure, on parle en la circonstance de fissure arrêtée ou active, dans ce dernier cas, il est indispensable de connaître sa vitesse de propagation [33].

Afin d'appréhender les causes des désordres observés et évaluer le degré de gravité, une approche systématique est indispensable pour garantir que les interprétations des phénomènes géotechniques sont fiables et que les solutions proposées sont efficaces. Il y a des pathologies qui affectent la durabilité de l'ouvrage et des pathologies qui n'affectent que l'aspect extérieur des bâtiments. Néanmoins, tous les facteurs de désordres doivent être pris en considération dès la conception de l'ouvrage jusqu'à l'achèvement des travaux.

III-2- Description structurelle sommaire des ouvrages

La conception structurelle des blocs est constituée par un système de portiques auto-stable (poteaux et poutres) sur lesquelles reposent des dalles avec des terrasses inaccessibles. Les blocs ont des formes rectangulaires régulières en plan et en élévation. Les blocs pédagogiques sont en R+1 et les blocs administratifs sont en RDC dans les établissements scolaires. L'infrastructure est un système de fondations superficielles avec des semelles isolées sous poteaux reliées par un système de longrines.

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

La superstructure est constituée de portiques auto-stables (poteaux et poutres) en béton armé. Les planchers sont en corps creux 16+5 avec une dalle de compression armée d'un treillis soudé et des solives en béton armé. La maçonnerie de remplissage intérieur et extérieur est en briques creuses. Un enduit en sable et ciment couvre les murs sur les façades. Les ouvrages sont surmontés de toiture-terrasse accessible protégée par un revêtement d'étanchéité.

Tableau n° III- 11: Description structurelle sommaire des ouvrages

Ouvrage	Fonction	Bloc	Description structurelle			
			Forme	Élévation	Infrastructure	Superstructure
LYCEE JEUNES FILLES	Scolaire	Administratif	Rectangulaire	RDC	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
		Pédagogique	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
CEM BRACHEMI	Scolaire	Administratif	Rectangulaire	RDC	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
		Pédagogique	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
CEM MEDJADJI	Scolaire	Administratif	Rectangulaire	RDC	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
		Pédagogique	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
ECOLE PRIMAIRE REMAS KERROUM	Scolaire	Administratif	Rectangulaire	RDC	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
		Pédagogique	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
BIBLIOTHEQUE CENTRALE	Universitaire	-	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
URSA	Bureau d'études	Technique	Rectangulaire	R+1	Fondation superficielle	Portiques auto-stable
CACOBATPH	Administration	Administratif	Rectangulaire	R+2	Fondation superficielle	Portiques auto-stable

III-3- Causes probables des désordres relevés

L'examen de l'état de la structure en béton armé est basé sur examen visuel des parties visibles et accessibles de l'ouvrage. Le béton des éléments structuraux a des caractéristiques mécaniques satisfaisantes selon les rapports de diagnostic de pathologies. En générale, aucune altération n'a été détectée sur les bétons. Selon la littérature, les causes principales peuvent être multiples et peuvent être énumérées succinctement :

- les erreurs de calcul ;
- les dispositions défectueuses (liaisons, ferrailage, transmission des efforts) ;
- les déformations excessives ;
- l'effet des variations dimensionnelles : par des changements d'humidité de température ou de charge ;
- les fautes d'exécution ;
- les causes d'ordre géotechnique liées au comportement du sol (tassements, retrait-gonflement).

III-3-1- Infiltrations des eaux

L'eau d'infiltration peut avoir plusieurs sources :

- La dégradation du système d'étanchéité au droit des joints entre les blocs et des descentes et gargouilles d'évacuation des eaux ;
- Détérioration des systèmes de protection périphérique des blocs notamment les solins périphériques ;
- Absence de système de canalisation des eaux pluviales et de ruissellement vers le réseau d'évacuation des eaux pluviales ;
- Existence mitoyenne des blocs de canalisation de tuyauterie et caniveaux non étanches favorisant l'accumulation des eaux. Existence de végétation dense au voisinage des blocs ;
- Eau d'arrosage des espaces verts et présence d'une végétation abondante autour des bâtiments favorisant l'infiltration des eaux ;
- Eau usée provenant du regard et des canalisations souterraines ;
- Eau de fuite des citernes de terrasse ;
- Tuyauterie défectueuse (chauffage central, conduits d'eau potable).

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Les désordres se concentrent dans les parties sujettes aux infiltrations d'eaux dans les fondations. La pathologie est largement influencée par les conditions climatiques du site et l'exposition des bâtiments. Les venues accidentelles d'eau peuvent avoir diverses origines :

III-3-2- Infiltrations à travers les toitures-terrasses

Les infiltrations peuvent se produire à cause des problèmes de toiture ou des murs exposés à la pluie. Une toiture-terrasse est le dernier plancher d'un bâtiment qui sert à la constitution du toit. La forme de pente varie généralement de 0 à 3 % suivant le système d'étanchéité retenu. Les sinistres les plus fréquents au niveau de l'étanchéité sont :

- Joint du toit plat mal fait ;
- Mauvaise pente du toit plat d'où la stagnation de l'eau ;
- Avaloire obstruée ;
- Joint avec mur mitoyen dégradé ;
- Etanchéité mal exécutée.

III-3-3- Infiltrations à travers le mur de façade

Les façades en briques apparentes, notamment les plus anciennes, sont à l'origine de nombreux sinistres liés aux infiltrations d'eau. L'étanchéité réputée des constructions anciennes était acquise par la seule épaisseur du mur en briques ou en pierres. En réalité, les murs réalisés en briques sont sensibles en raison de la relative porosité de ce matériau et de la durée d'exposition aux pluies [8].

Les défauts les plus rencontrés sont :

- Défaut générale de l'enduit ;
- Fissure de l'enduit de façade ;
- Descente d'eau cassée ;
- Tuyauterie défectueuse (chauffage central, conduits d'eau potable).

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Les désordres se concentrent dans les parties sujettes aux infiltrations d'eaux dans les fondations. La pathologie est largement influencée par les conditions climatiques du site et l'exposition des bâtiments. Les venues accidentelles d'eau peuvent avoir diverses origines :

III-2-4- Infiltrations à travers les toitures-terrasses

Les infiltrations peuvent se produire à cause des problèmes de toiture ou des murs exposés à la pluie. Une toiture-terrasse est le dernier plancher d'un bâtiment qui sert à la constitution du toit. La forme de pente varie généralement de 0 à 3 % suivant le système d'étanchéité retenu. Les sinistres les plus fréquents au niveau de l'étanchéité sont :

- Joint du toit plat mal fait ;
- Mauvaise pente du toit plat d'où la stagnation de l'eau ;
- Avaloire obstruée ;
- Joint avec mur mitoyen dégradé ;
- Etanchéité mal exécutée.

III-2-5- Infiltrations à travers le mur de façade

Les façades en briques apparentes, notamment les plus anciennes, sont à l'origine de nombreux sinistres liés aux infiltrations d'eau. L'étanchéité réputée des constructions anciennes était acquise par la seule épaisseur du mur en briques ou en pierres. En réalité, les murs réalisés en briques sont sensibles en raison de la relative porosité de ce matériau et de la durée d'exposition aux pluies[15].

Les défauts les plus rencontrés sont :

- Défaut générale de l'enduit ;
- Problème de châssis ;
- Fissure de l'enduit de façade ;
- Descente d'eau cassée ;

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

L'eau peut venir de l'extérieur et peut s'infiltrer par un toit ou par un mur de façade défectueux. Une des caractéristiques des dégradations observées sont les taches d'humidité dues à des infiltrations d'eau. Elles apparaissent peu de temps après la pluie ou se manifestent plus loin car l'eau peut voyager dans le mur.

Les signes de pathologie causés par les infiltrations d'eau sont divers, taches d'humidité, écaillage de la peinture, odeurs de moisissures, papier peint qui se décolle, gonflement de bois, fissures dans un enduit ou dans des briques, mousses, lichens de couleur verte... [2].

III-A-Taches d'humidité sur les murs

L'humidité permanente dans un bâtiment est une source de désordres perpétuels. L'eau des pluies ou des fuites des conduits si elle est retenue dans les murs provoque le cloquage des peintures est les signes apparents. Quel que soit l'origine de l'eau, elle reste la cause principale des problèmes d'humidité. Les désordres dus à l'humidité proviennent de différents types d'eau :

- Le processus d'infiltration des eaux est plus complexe, car il est lent. Il s'agit du passage d'un liquide à travers les interstices d'un corps. Il fait appel, par exemple, à l'infiltration des eaux de pluies qui diffusent dans le sol, puis dans les murs.
- Quant à l'eau de la remontée capillaire est l'ensemble des phénomènes relatifs au comportement des liquides dans des tubes très fins. Le phénomène de la remontée capillaire est renforcé par les phénomènes d'électro-osmose et d'électro-filtration qui jouent un rôle primordial. Ils trouvent leur origine physique à l'échelle nanométrique. C'est à l'interface des particules d'argile (particules $< 2 \text{ nm}$), où se forment des couches ioniques et où ces phénomènes se généralisent [13] :
 - L'eau véhiculée par l'électro-osmose : une différence de potentiel électrique provoque un déplacement du liquide interstitiel de l'anode vers la cathode en raison de la non uniformité de la distribution des cations (ion $+$) et des anions (ion $-$) au voisinage de la particule chargée, c'est l'électro-osmose.
 - L'eau véhiculée par l'électro-filtration : réciproquement, l'application d'un gradient de potentiel hydrique fait que l'eau entraîne, dans sa circulation des particules chargées, ce qui donnent naissance à un courant électrique. Il s'agit de l'électro-filtration.

III-B-Fuites d'eau

La dégradation de l'étanchéité en plusieurs endroits des planchers, notamment au niveau de la terrasse est amputée la dégradation des conduits d'évacuation des eaux pluviales et leurs conséquences sur la maçonnerie.

III-C-Eau de ruissellement

On distingue trois types d'eaux provenant du sol :

- a) Eaux de ruissellement : elles ruissellent généralement sur le sol ou s'accumulent sur les espaces aux alentours des bâtiments. Le ruissellement d'eau est très courant dans les terrains comportant des couches superficielles imperméables (argiles, argile sableuse ...). Les eaux pluviales en absence d'un système de drainage, se déversent directement sur les terrains nus. Une bonne partie de cette eau s'infiltre dans le sol et provoque le phénomène des tassements responsables des affaissements des dallages et des désordres constatés sur les murs en maçonnerie. Ce cas est classique lorsque le bâtiment se trouve implanté dans une zone où les eaux de surface peuvent être abondantes et dont l'accumulation et l'écoulement sont accentués par la configuration topographique du terrain. La conception hasardeuse de système de drainage n'a pas eu les résultats escomptés et l'envahissement des espaces autour des bâtiments par les eaux pluviales. Les eaux pluviales vont soit s'accumulées sur le sol soit ruissèlement en raison de la déclivité du site vers le pied des fondations pour atteindre le sol d'assise par infiltration si le sol est perméable et mal protégé.
- b) Eaux d'infiltration : il s'agit des eaux qui se trouvent au niveau du sol de fondations, ainsi que par d'éventuelle existence d'une nappe phréatique et eaux souterraines juste en dessous des parties enterrées de la construction.
- c) Eaux accidentelles : elles proviennent des canalisations mal exécutées ou non étanches, ainsi d'autres fuites d'eau dans le sol de fondation. La manifestation caractéristique de cette pathologie est humidité dans le bas du mur, à hauteur relativement constante. Elle peut être accompagnée de taches sur le plancher même. Elle se manifeste dans tous les murs de cet étage et n'augmente pas après la pluie.

III-3-Pathologies des fondations

Les sinistres de fondations sont nombreux et parfois spectaculaires mais certaines situations peuvent être simples. Il est déraisonnable de conclure et diagnostiquer un tassement de fondation à la vue de fissures

de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre. Il y a deux situations qui peuvent avoir des effets comparables sur la façade [35] :

-La semelle de fondation fléchit sous le poids des charges de la façade alors que le sol d'assise s'enfonce et la semelle de fondation se casse.

-La semelle de fondation insuffisamment ferraillée, le béton souffrira d'une sollicitation de type moment fléchissant excessive dans le premier cas, de type effort tranchant dans le second cas.

Sous l'effet de sollicitation d'effort tranchant, les fissures s'apparaîtront sur la façade tout le long des points faibles de la structure où elle manque de raideur et particulièrement autour des ouvertures ; les fissures ont alors une inclinaison voisine de 45° . Dans le cas de sollicitation de moment fléchissant, les fissures causées par un défaut de portance des fondations peuvent aussi avoir une allure horizontale, par exemple lorsque c'est l'angle de la maison qui s'enfonce ou quand la fissure apparaît au niveau du soubassement, sous l'arase du dallage.

À postériori les désordres relevés sur le bâtiment sont dus aux tassements déclenchés par les eaux d'infiltration en provenance des eaux de pluies mal évacuées. Mais comment reconnaître une pathologie de fondations. Certaines situations sont simples à interpréter si l'ampleur des désordres observés ne laisse aucun doute. A l'opposé, il n'est pas raisonnable de conclure hâtivement à un tassement de fondations à la vue des fissures de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre. Mais, en pratique les situations intermédiaires restent les plus problématiques en matière d'expertise. La négligence des connaissances de base de "la résistance des matériaux" prête à des confusions et à des erreurs de diagnostic. Le sol d'assise des fondations est un type de sol riche en éléments fins dont le comportement varie notablement en fonction de la teneur en eau. Les pathologies de façades des bâtiments expertisés, reposent justement sur un sol de cette nature en l'occurrence les argiles, les marnes, les calcaires sensibles à l'eau. L'analyse de plasticité avait conclu sur des sols plastiques à très plastique mais fortement compressible de la couche de calcaire-marneux quand elle est rencontrée en profondeur (1,5 et 2 m) selon les sondages.

III-4-Interprétation des résultats géotechniques

En général, la plupart des désordres sont dues soit à des phénomènes physiques (retrait, dilatation) ou à des mouvements du sol d'assise des fondations lui-même lié à d'autres problèmes géotechniques de plus en plus complexes [1]. la campagne d'identification du sol est une investigation complémentaire pour

conclure sur une interprétation crédible. Les rapports géotechniques fournissent des informations fortes utiles pour interpréter et déceler les causes responsables des dégradations relevés au niveau des maçonneries. Cette connaissance est primordiale dans la mesure où les fondations restent des éléments structurels important pour la stabilité de l'ouvrage et leur implication fréquente dans les désordres et sinistres des ouvrages [1].

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Tableau n° III-12: Résultats des essais géotechniques des sites étudiés.

Site	Prof. (m)	Lithographie	Granulométrie			Limite d'Atterberg				Potentiel de gonflement
			<80 μ (%)	DH (t/m ³)	DS (t/m ³)	WL %	WP %	WR %	IP %	
CEM BRACHEMI	00.00- 01.00	Remblais	90%	2.15	1.60	46.18	22.62	15.90	21.83	Elevé
	01.00- 08.00	Argile verdâtre avec des passages de niveaux finement schisteux		1.97	1.69	1.73	49	27.88	22.33	
SIAGES DE LA CACOBATPH	00.00 -01.50	Terre végétale et remblai	96.80%	2.11	1.64	51.09	25.02	15.06	26.07	Elevé
	01.50-10.00	Calcaire marneux avec passage gréseux								
BIBLIOTHEQUE CENTRALE UNIVERSITE SAIDA	00.00 -01.70	Remblai hétérogène	97.50%							Moyen
	01.70-10.00	Argile limoneuse compacte à moyennement compacte plastique		2.14	2.60	40.97	21.07	13.30	19.90	
CEM MEDJADJI	00.00- 01.50	Remblais	96%	1.85	1.60	36.20	15.60	15.50	20	Elevé
	01.50-10.00	Argile beige graveleuse à amas de calcaires friables		1.99	1.75	46	21.60	13.70	24.40	
LYCEE JEUNES FILLES	00.00 – 02,00	Terre végétale et remblai	96%	2.02	1.74	54	28	16	26	Elevé
	2.00-2.50	Argile beige graveleuse à caillouteuse avec amas de calcaire friables		2.15	1.90	43.50	24.40	13.30	19.10	Moyen
BUREAU D'ETUDES URSA SAIDA	00.00-1.50	Remblais	94%	1.85	1.60	36.20	15.60	15.50	20	Moyen
	1.50-10	Argile beige graveleuse à caillouteuse avec amas de calcaire friables		1.99	1.75	46	21.6	13.7	24.40	
ECOLE PRIMAIRE REMAS KERROUM	00.00-1.50	Remblais	94%	2.01	1.75	50.41	26.11	14.30	24.30	Moyen
	1.50-10	Calcaire marneux avec passages gréseux								

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

L'analyse des indices relatifs à la nature du sol et le type de fondations sont nécessaires avant de conclure sur une hypothèse expliquant l'origine des désordres constatés. Ces investigations viendront confirmer ou infirmer l'hypothèse fondée et proposer des remèdes appropriés. Cette partie de l'étude tente de tirer quelques explications des désordres relevés en abordant les concepts théoriques de base en matière de mécanique des sols.

La description lithologique des sols donne des formations géologiques constituées d'argile verdâtre avec des passages de niveaux finement schisteux, de calcaire marneux (avec passage gréseux), d'argile limoneuse (compacte à moyennement compacté plastique), d'argile beige graveleuse à caillouteuse à amas de calcaires friables, et de calcaire marneux avec passages gréseux. Ces formations sont surélevées le plus souvent de couches de remblai hétérogène et de terres végétales d'épaisseur variables de 1 à 2 mètres. Les résultats des essais d'identification (analyse granulométrique) caractérisent des sols fins à granulométrie inférieure à 80 μ variant de (93 à 97,50 %).

L'estimation de la sensibilité des sols d'ancrage révèle un potentiel de gonflement moyen à très élevé présentant un potentiel de tassement assez marqué. L'indice de plasticité (IP) est compris entre (1 et 27%) caractérisant un sol plastique à très élastique. Les investigations du sol n'ont rencontré aucune présence d'eau car aucune humidité n'a été décelée sur les tiges du pénétromètre.

Les résultats des œnométriques caractérisent des sols consolidés et fortement compressibles. La résistance dynamique est en général moyenne à forte ; elle oscille de 70 bars (minimum) allant à des pics de 290 bars (maximum) selon le site et la profondeur de reconnaissance.

Si la résistance dynamique est en général acceptable, il en demeure néanmoins que le sol d'assise des fondations est très sensible à l'eau et la protection des fondations contre les arrivées accidentelles reste une mesure indispensable pour la stabilité et la durabilité des ouvrages afin d'éviter tout changement dans les caractéristiques des sols pouvant influencer le comportement du sol d'ancrage.

Tableau n°III-13 : Classification des sols grenus (selon L.C.P.C)

Définition			Symboles	Conditions	Désignation géotechnique
GRAVIER	Plus de 50 % des éléments > 0.08 mm ont un diamètre > 2 mm	moins de 5 % d'éléments > 0.08 mm	Gb	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad (*)$ $\text{Et } Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{40}} \text{ compris entre 1 et 3}$	Grave propre bien graduée
			Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
		plus de 12 % d'éléments > 0.08 mm	GL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Grave limoneuse
			GA	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Grave argileuse
SABLES	Plus de 50 % des éléments > 0.08 mm ont un diamètre > 2 mm	moins de 5 % d'éléments > 0.08 mm	Sb	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $\text{et } Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ compris entre 1 et 3}$	Sable propre bien graduée
			Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal graduée
		plus de 12 % d'éléments > 0.08 mm	SL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Sable limoneux
			SA	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Sable argileux

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

III-5-Les conséquences de l'action de l'eau sur les sols argileux

L'action de l'eau sur le comportement des sols sensibles à l'eau est déterminante. En absence d'ouvrages de protection des bâtiments les eaux de ruissellement, les eaux des fuites (terrasses, tuyauterie défectueuse) s'infiltreront à travers les fissures et atteignent les couches d'ancrage des fondations et modifient les paramètres physique et mécanique des sols d'assise sensible à l'eau. La présence des espaces verts et des arbres autour des bâtiments sont des facteurs aggravants, ils ont une influence directe sur l'état hydrique du sol. Cela induit des mouvements verticaux des sols causés par le phénomène de retrait/gonflement des argiles.

L'ensemble des désordres observés sont imputés à des causes directes : la présence de couches de formation argileuses ou marneuses très sensibles à l'eau. Les causes sont donc d'ordre géotechnique (sol compressible, tassement différentiel, présence de plantes). La combinaison des causes déclenche le processus de dégradation.

III-5-1-Instabilité des sols

Les désordres visibles sur un ouvrage peuvent résulter soit d'un mauvais comportement de la structure elle-même, ou de la déformation excessive du sol d'assise. Ces deux causes peuvent affecter le gros œuvre et la structure à la fois et/ou les équipements et revêtements divers et enduits. L'instabilité du sol est l'une des causes principales des désordres dans le bâtiment. Ces pathologies concernent en particulier les sols fins tels que les sols argileux, gonflants ou expansifs. Le comportement du sol à l'origine de désordres apparents dans la maçonnerie peut se traduire par les phénomènes suivants :

III-5-2-La diminution de la force portante du sol

La couche d'un sol sensible à l'eau (calcaire, marne, argile...etc.) provoque plus ou moins la déformation du sol selon les points d'appui. Les sols étudiés sont constitués de particules fines de l'ordre de (1/100 mm) séparées par des vides. La variation de teneur en eau peut donc donner lieu à plusieurs types de phénomènes :

En ce qui concerne les sols saturés à grains fins, on assiste au phénomène de tassement progressif des bâtiments. La résistance à la pression d'un sol argileux décroît lorsque la teneur en eau augmente. Elle peut dépasser 0,4Mpa (4 bars) pour les argiles très consistantes, mais elle est inférieure à 0,025Mpa (0,25 bar) pour les argiles très molles [23].

Cette situation favorise la dégradation du sol quand un drain de surface est défectueux d'où le phénomène de tassement et ses effets indirects sur la maçonnerie de remplissage en particulier.

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Ces sols donnent lieu à des tassements différentiels car la teneur en eau de l'argile varie d'un point à l'autre. Une façade exposée au soleil ou fondée superficiellement sera toujours plus affectée.

III-5-3-Le phénomène de Tassements

Les sols argileux comportent une forte proportion de minéraux de même nom et forment souvent des bancs épais, elles sont sensibles à l'eau, imperméables et susceptibles de tasser ou de gonfler. Les principales familles sont, la Kaolinite ; l'Illite ; la Montmorillonite. La Bentonite est une variété de montmorillonite, cette dernière famille est la plus sensible à l'eau [18].

Les tassements d'ensemble sont rares, ce sont plutôt les tassements différentiels qui sont à redouter. Ils se produisent lorsque la réaction du sol, sous les charges apportées par la structure, n'est pas homogène. Pour que des fissures consécutives à un tassement différentiel se forment, il faut qu'une partie de l'ouvrage s'enfonce dans le sol davantage que le reste de la construction. Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si les efforts sont incompatibles avec la sécurité des matériaux. Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont [34] :

- Les sols compressibles ;
- Les remblais récents ;
- Les remblais d'épaisseurs ;
- Le non homogénéité du sous-sol de fondations ;
- L'emploi des fondations hétérogènes ;
- Les affouillements du sol sous les fondations ;
- La modification du volume de certains sols en fonction de la teneur en eau...
- terrains en pente (ne vont pas se tasser uniformément) ;
- absence de joint de rupture entre les blocs de poids inégaux.

Trois conditions doivent être réunies pour déclencher la fissuration :

- Un sol compressible sous le niveau d'assise des fondations ;
- Charges irrégulièrement réparties aux fondations, le sol se déformera donc plus ou moins selon les points d'appui, c'est aussi le cas lorsque des fouilles importantes sont faites à proximité immédiate de fondations existantes ;

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

-Fragilité de la superstructure, les déformations différentielles du sol sont pour la superstructure des déplacements imposés, qui engendrent des contraintes de tractions et de cisaillement dans la superstructure. Les points les plus faibles et notamment les joints de maçonnerie seront les premiers à ne pas résister à ces contraintes[15].

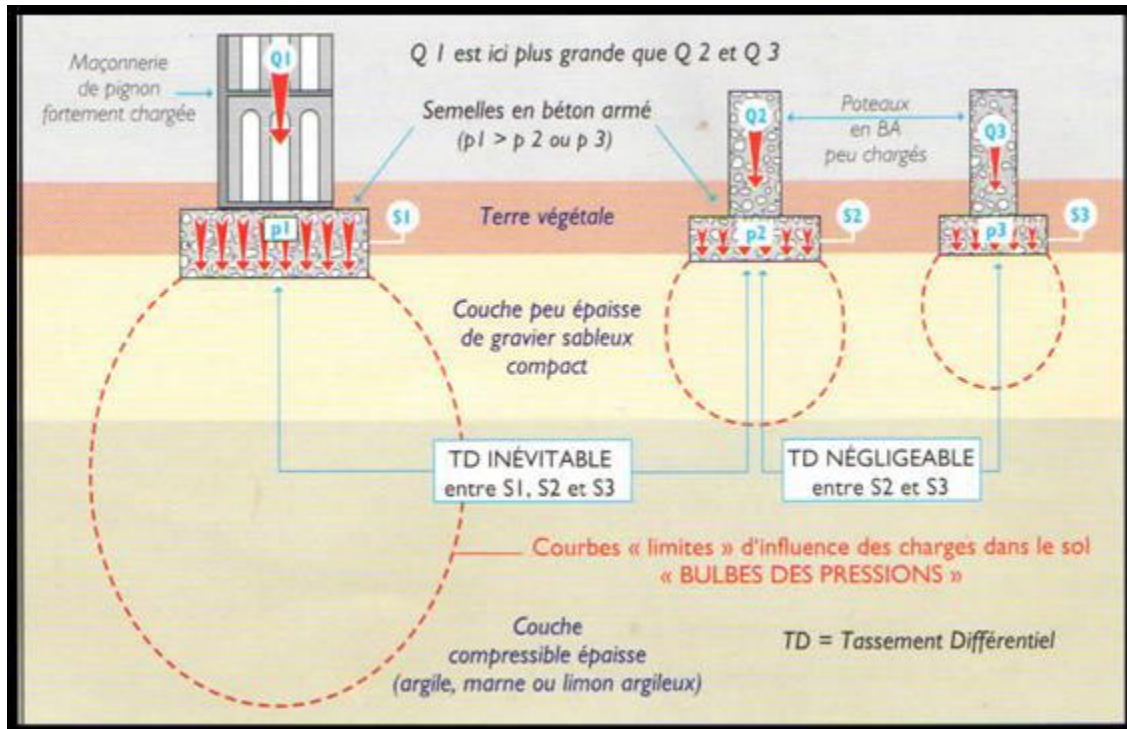


Figure n° III- 19: Schémas de transmission des charges (Q) d'un pavillon au sol.

III-5-3-1 Tassements différentiels

Le tassement différentiel est la cause directe de la répartition inégale des charges de la superstructure vers les différents points d'appuis (fondations) de la superstructure, on dit alors que le sol tasse. Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si les efforts sont incompatibles avec la sécurité des matériaux[17].

Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont imputables aux sols compressibles et les remblais récents. Les variations de l'état hydrique d'un sol sensible à l'eau est aussi un facteur déterminant dans le déclenchement du phénomène de tassement. L'hétérogénéité du sous-sol de fondations ou l'emploi des fondations hétérogènes sont aussi responsables des tassements différentiels ainsi que le phénomène des affouillements du sol sous les fondations et c'est notamment le cas des sols calcaires (cavité calcaire)[26].

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

III-5-4-Retraît et Gonflement des argiles

La variation de la teneur en eau dans le sol suite à l'évapotranspiration peut être à l'origine du phénomène de Retrait/gonflement des argiles. Cette variation de l'état hydrique influence grandement le comportement des sols argileux. Les argiles dites gonflantes sont dures et cassantes lorsqu'elles sont desséchées comme elles peuvent être plastiques et malléables à partir d'un certain niveau d'humidité. Ces modifications de consistance s'accompagnent de variations de volume, dont l'amplitude peut être parfois spectaculaire. Parmi les facteurs favorisant le retrait et gonflement des argiles sont les phénomènes climatiques exceptionnels, les fuites dans un réseau enterré, le ruissellement surfacique des eaux pluviales en absence de drain et la présence de végétaux avides d'eau en période de sécheresse [10].

III-5-5-Mécanismes de gonflement

Les matériaux susceptibles de gonflement au contact de l'eau sont les argiles naturelles, les marnes, les roches argileuses et les roches composées d'anhydrite. Le comportement des sols argileux varie notablement avec la teneur en eau. Au contact de l'eau, l'argile devient plastique. En l'absence d'eau, l'argile se dessèche et devient raide puis perd sa cohésion pour devenir pulvérulente sans résistance. En période sèche, certaines argiles peuvent subir le phénomène de retrait/gonflement, ces types d'argiles ne sont pas recommandés pour la construction.

Le processus de gonflement dépend donc du taux d'absorption de l'eau par l'argile. Il met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Il dépend aussi de la texture du matériau à savoir l'organisation des plaquettes entre elles [16].

La première et l'unique cause de gonflement d'un sol riche en minéraux expansifs est l'eau. Les conséquences du gonflement d'un sol expansif sur un ouvrage d'art (tunnels, d'habitats, barrages, voiries,) se résument par la relation suivante :

$$\text{« Minéraux expansifs + eau = gonflement »}$$

Quand un ouvrage est édifié sur un terrain expansif, les désordres qui peuvent l'affecter après une période donnée sont imputables au caractère gonflant des sols d'assise des fondations en raison du changement de l'état hydrique du matériau qui s'explique par les causes suivantes[5].

-Situation de l'ouvrage dans une région connue par les changements climatiques et saisonniers importants (saison sèche- saison humide).

-Utilisation accrue de l'eau dans la méthode d'exécution ou de confortement de l'ouvrage.

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

-Absence de système de drainage contribue au phénomène de retrait-gonflement des sols.

III-5-6-Mécanismes de retrait

Le retrait résulte de la diminution du volume du sol due à l'évaporation de l'eau présente dans le sol. L'assèchement progressif du sol provoque des tensions capillaires qui sont à l'origine de contraintes de cisaillement. Plus l'eau s'évapore, plus les tensions capillaires augmentent et plus le rayon des pores diminuent. Parallèlement, la résistance à la traction du sol augmente. Quand cette résistance atteint les contraintes engendrées par les tensions capillaires, le retrait s'arrête, le volume du sol ne diminue plus[19].

III-6-Conséquences du phénomène de retrait-gonflement

L'alternance du retrait et du gonflement d'un sol d'une saison à une autre provoque des tassements importants (différentiels) dont les conséquences sur les constructions se manifestent par des dommages d'autant plus si la structure et son système de fondations ne sont pas assez rigides. Les bâtiments et particulièrement les maisons individuelles construits sans précautions sur sols gonflants présentent souvent des dégradations multiples selon les cas (fissurations en façade, décollements entre éléments jointifs distorsion des portes et fenêtres, dislocation des dallages et des cloisons et, parfois, rupture de canalisations souterraines) ... qui conduisent parfois à l'instabilité générale du bâtiment par rupture ou déboisement de ses éléments porteurs[16].

III-7-Le phénomène de « gel-dégel »

La région de Saïda se caractérise par un climat semi-aride à grandes variations climatologiques et un contexte géologique dominé par des formations argileuses appelée « Argiles de Saïda [22].

La période 1980-2010 est marquée par des sécheresses et d'inondation particulièrement dévastatrices. La conjugaison du climat semi-aride et la géologie particulière constitue pour la ville des prédispositions suffisantes à l'apparition de cas pathologiques liés au comportement du sol. Si les températures de 10 °C se maintiennent sur deux mois [23].

Les formations argileuses ou calcaires marneux engorgés d'eau peuvent geler en profondeur sous les fondations superficielles ou dallage en béton. Immédiatement après le dégel et l'assèchement des argiles en d'un printemps et été extrêmement secs, plusieurs types de désordres liés aux mouvements de

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

tassements du sol d'assise peuvent donc apparaître sur les maçonneries. On observe souvent ce phénomène climatique dans la ville de Saïda, qui se caractérise par un climat froid en hiver et sec voire aride en été. Le nombre total de jours avec gelée pendant l'année 2005 s'élève à 63 jours soit deux mois.

Tableau n° III-14: Période de gelée en nombre de jours à Saïda (1990-2010).

Année	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov.	Déc.	An
1990	7	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	10
1991	-	12	-	9	4	-	-	-	-	-	-	-	25
1992	14	14	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5	37
1993	16	8	5	1	0	0	0	0	0	0	1	12	43
1994	10	9	1	3	0	0	0	0	0	0	0	14	37
1995	11	8	1	4	0	0	0	0	0	0	2	0	26
1996	1	11	5	1	0	0	0	0	0	0	3	5	26
1997	4	10	10	1	0	0	0	0	0	0	0	7	32
1998	8	8	8	1	0	0	0	0	0	0	5	16	46
1999	8	13	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	39
2000	24	13	2	1	0	0	0	0	0	0	1	4	45
2001	5	7	1	3	0	0	0	0	0	0	3	11	30
2002	8	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4	24
2003	12	11	3	0	0	0	0	0	0	0	1	9	36
2004	15	5	6	5	0	0	0	0	0	0	4	10	45
2005	22	18	5	6	0	0	0	0	0	0	1	11	63
2006	17	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	36
2007	11	0	10	2	0	0	0	0	0	0	2	9	34
2008	13	10	8	4	0	0	0	0	0	0	3	9	47
2009	4	12	2	2	0	0	0	0	0	0		9	29
2010	7	2	1	1	0	0	0	0	0	1	3	7	23

Source : station de météo de Saïda, 2013.

La période de gel pendant les mois de décembre est relativement courte (janvier et février) où les températures minimales absolues peuvent atteindre des valeurs négatives. Les écarts des températures moyennes mensuelles pour la même période (décembre, janvier, février) atteignent des valeurs importantes de l'ordre de -11° C quoique relativement courtes mais suffisantes pour déclencher un cycle de gel ce qui n'est pas sans effet sur le comportement du sol d'assise des fondations.

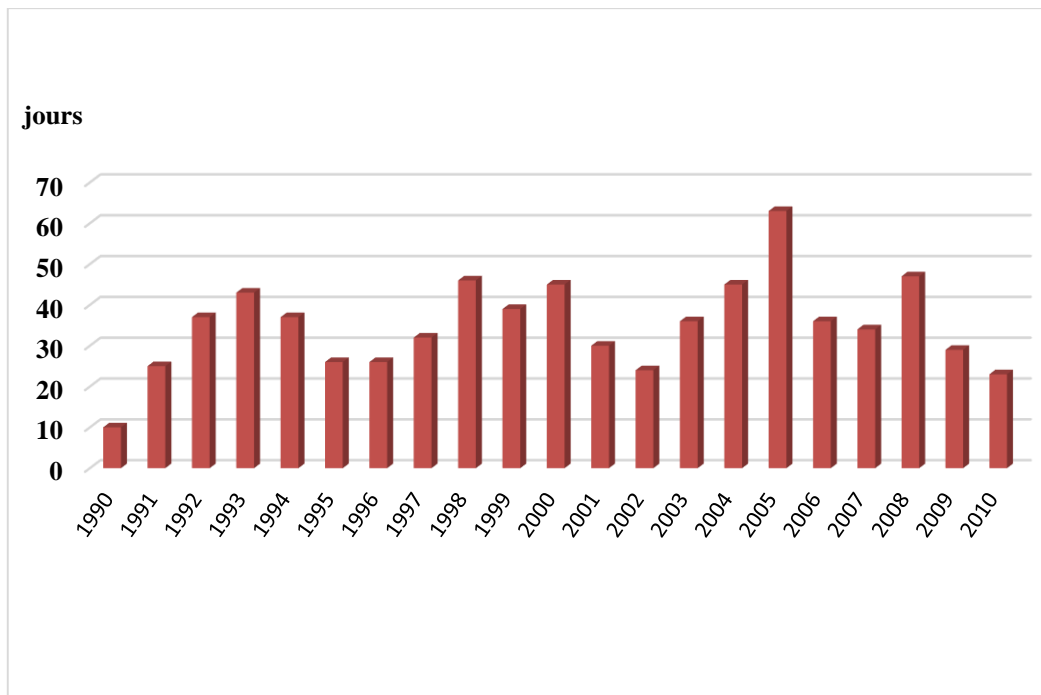


Figure n°III-20: Période de gelée en nombre de jours (1990-2010).

Tableau n°III-15: Températures minimales absolue (en °C), 1990-2010.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov.	Déc.	Moye
Temp	-9.3	-6.2	-5.8	-3.5	-6.0	5.4	9.5	7.0	6.6	2.0	-2.4	-11.0	-11.0
Source : Station météo de Saida, 2019													

Il s'avère que des fondations non protégées sont exposées aux pathologies de fondations et des désordres (fissurations de murs, soulèvement de dallages, rupture de cloisons comprimées entre le plancher haut du sous-sol...etc).

III-8-Présence de végétaux et d'arbres

La présence de plants de hautes tiges avides d'eau au voisinage peut engendrer directement des désordres importants notamment en été. Les racines et les radicelles en cherchant l'eau, elles s'orientent en profondeur et contribuent à l'assèchement du sol sous fondations en provoquant le phénomène de tassements. Certains arbres de hautes tiges peuvent ainsi avoir des effets dévastateurs. Souvent les espaces autour des bâtiments sont laissés à l'état vierge, sans dallage et aménagement ce qui est propice au développement de végétation sauvage.

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

Tableau n°III- 16: Influence du système racinal des essences sur les constructions environnantes [39].

	Hauteur max. en zone urbaine (en m)	Distance max. du désordre (en m)	Distance au dessous de laquelle 50% des désordres ont été constatés (en m)	Désordre Lié à l'essence Considéré (en %)	Essence Dans la population (en %)	Coefficient d'agressivité
Chêne	16-23	30	9,5	11,5	2,1	5,5
Peuplier	25-28	30	11	8,7	3	2,9
Frêne	14-23	21	6	7,5	3	2,5
Faux acacia	18-20	12,4	7	3	1,8	1,7
Marronnier	12-25	23	7,5	3	2,2	1,4
Tilleul	16-24	20	6	8,2	6,4	1,3
Saule	15-25	40	7	5,7	4,5	1,3
Aubépine	10	11,5	5	4,6	3,5	1,3
Hêtre	20	15	6	1	1	1
Platane	25-30	15	5,5	11	13,7	0,8
Pommier Poirier	8-12	10	4	5,7	7,1	0,8
Erable	10-24	20	6	8,3	13,9	0,6
Cerisier Prunier	6-12	11	3	6	14,7	0,4
Bouleau	12-14	10	4	2	4,9	0,4
Cyprès	15-25	20	2,5	3	10	0,3
Sorbier Cormier Alisier	8-12		5	2	9,4	0,2
Orme	17-25	-	8	2	-	-
Troène	-	-	-	0,8	-	-
Rosier	-	-	-	0,7	-	-
Buisson ardent	-	-	-	0,35	-	-

III-9-Remèdes et solutions

À la lumière des diagnostics et de l'interprétation des causes potentielles des dégradations, les bâtiments expertisés ne nécessitent pas un confortement ou un renforcement important des structures qui sont presque intactes et qui n'ont subi aucune altération apparente si non quelques altérations légères de béton. Il n'est nécessaire de procéder à des travaux de réparation coûteux et partiels pour un bâtiment modestement fissuré si les causes indirectes des désordres ne sont pas radicalement solutionnées. À long terme, celles-ci peuvent engendrer des effets de tassement progressif de grande amplitude si des solutions

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

ne seront pas envisagées à court terme. Quel que soit la solution préconisée, le principe général doit prendre en compte la nature sensible du sol à l'eau et le problème des eaux d'infiltration.

Les désordres relevés à savoir, les fissures, les affaissements des dallages et les causes adjacentes imposent un ensemble de dispositions et de recommandations pour y remédier et assurer une meilleure durabilité et une exploitation optimale des ouvrages. Globalement, quatre catégories de solutions peuvent être adoptées:

- La pathologie des fondations sur un sol argileux conduit à s'intéresser aux réseaux de drainage, aux réseaux enterrés et au phénomène de l'infiltration des eaux accidentelles. Il s'agit d'éliminer l'arrivée des eaux accidentelles et le phénomène d'infiltration.
- Procéder à la réparation des erreurs de conception au niveau des dallages et des chaussées autour des bâtiments.
- Réparation et reconstruction des parties endommagées des maçonneries.
- Prise en charge des espaces verts.

III-9-1- Précautions en cas de ruissellement d'eau

Il est toujours essentiel de protéger les assises des fondations contre les infiltrations accidentelles d'eau qui pourraient entraîner une modification du comportement du sol d'assise. Rappelons que l'édifice est situé sur le drain des eaux de pluies provenant des terrains situés en amont du bâtiment. Cette situation a entraîné la détérioration du sol qui n'avait pas de drainage de surface, ce qui a entraîné des dégâts sur le bâtiment. Afin de prévenir de telles perturbations à l'avenir, la méthode la plus traditionnelle consiste à organiser un réseau de drainage urbain à l'échelle de la ville.

Système d'évacuation des eaux pluviales, adapté à la configuration du terrain, éloignera les eaux de surface et préservera ainsi tous les bâtiments environnants des risques de stagnation et d'infiltration des eaux, qui sont nuisibles à la stabilité des bâtiments. Le but du drainage est de recueillir les eaux de ruissellement afin de les évacuer ensuite vers un système urbain d'évacuation des eaux pluviales. Il est essentiel d'avoir un système de drainage à l'échelle de la ville ou du secteur urbain en question afin de supprimer l'une des principales causes des pathologies de fondation.

Concernant les eaux de ruissellement à l'échelle de l'ouvrage, des dispositions s'imposent pour supprimer les sources des eaux accidentelles :

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

1- Réparation du réseau de drainage existant

En période de pluie, les eaux pluviales provenant de l'accotement de la chaussée engendrent l'infiltration des eaux et entraînent une modification locale de la consistance du sol en pied du mur de clôture, puis se propagent sur l'espace de la cour partiellement dallée. Le réseau de drainage réalisé à la hâte suite à une inondation survenue à la fin des années quatre-vingt-dix est mal conçu. C'est une réalisation hasardeuse car il ne s'agit pas de creuser une tranchée tout autour du bâtiment en y coulant du béton pour obtenir un bon drainage.

Le drainage s'est dégradé au fil du temps en raison d'un manque d'entretien et a perdu son rôle d'évacuation des eaux de ruissellement loin du bâtiment. Cependant, un bon système de drainage peut également au fil du temps se dégrader ou tout au moins être obstrué par certains endroits si il n'est pas entretenu. Ainsi, il est nécessaire de planifier des visites de vérification et d'entretien régulières.

Le manque d'entretien flagrant du drain existant a certainement accéléré sa dégradation. Il demeure la source principale des désordres constatés et avant toute réparation de la maçonnerie, il y a lieu d'engager en amont des travaux de reconstruction du drain. Pour éviter une réalisation hasardeuse, il y a lieu de se conformer aux règles et normes édictées par les documents techniques unifiés (D.T.U)[7].

2- Réparation des fuites d'eau

Il y a des problèmes d'étanchéité dans plusieurs endroits, notamment sur la terrasse et dans le sous-sol où la tuyauterie est endommagée. L'infiltration d'eau parasite dans un réseau de drainage, un regard des eaux pluviales ou des fuites d'eau sur une canalisation enterrée peuvent avoir des conséquences similaires à celles d'un tassement lorsqu'un sol se déforme. En été, le sol argileux réagit comme une éponge en perdant de l'eau et du volume en subissant d'un tassement tout à fait classique sous charge. Les variations de la teneur en eau des terrains argileux génèrent le phénomène de gonflement pendant la saison humide et le phénomène de retrait responsable des tassements pendant la saison sèche d'où les conséquences néfastes sur les bâtiments en termes de désordres.

Il est nécessaire de prévoir un système d'étanchéité en bicouche conforme aux normes, avec une protection en carrelage conformément au DTR 4-1, pour la terrasse accessible. Il est nécessaire de réparer ou de supprimer les fuites d'eau des canalisations et des conduits.

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

3- Reprise des fissures

L'origine de ces désordres peut être liée à une erreur de dimensionnement, à un défaut d'exécution (erreur dans l'élément porteur, décoffrage prématuré) ou à une utilisation anormale (surcharge d'exploitation).

Il faut poursuivre l'évolution des fissures : Il existe plusieurs techniques de réparation des fissures qui doivent être choisies selon les caractéristiques de chaque fissure et de leur milieu. Dans certains cas, il peut même arriver que l'utilisation de plusieurs techniques devienne nécessaire [14].

2- Rebouchage de fissure

Lorsque la fissure n'est pas trop profonde, et qu'elle reste superficielle, alors un rebouchage de fissure peut être une solution adéquate ! Ce traitement agit en surface du mur ou du plafond concerné, et implique l'utilisation d'un enduit de rebouchage. En creusant légèrement la fissure avec un grattoir, on obtient un fond sain, sur lequel on va venir déposer l'enduit [14].

3- Injection

Les fissures dont l'épaisseur est comprise entre 0.3 et 3 mm peuvent être réparées par injection de mortier de ciment très fluide. Les étapes de l'injection sont les suivantes :

- nettoyer les fissures au jet d'eau ou à l'air comprimé en enlevant la couche d'enduit dans les zones endommagées.
- Percer des trous sur l'axe de la fissure à un intervalle de 30 à 60 cm suivant l'importance de la fissure.
- Introduire les injections sur une profondeur de 5 cm environ dans les trous et les sceller avec du mortier de ciment.
- Colmater la fissure avec un mortier sur toute sa longueur.
- Injecter le mortier fluide ou le lait de ciment avec une pression de 30 bars.

III-9-2- Réparation des erreurs des dallages

Construire une dalle pleine sous les éléments saillants.

Suite à la constatation de l'absence de dalle pleine ou de longrines sous les éléments saillants, nous proposons les points suivants :

- Démolition de la maçonnerie des éléments saillants,

Chapitre III : Causes, interprétation et solutions

- Décapage de la terre au dessous des éléments saillants sur une épaisseur de 50cm,
- Remblai avec du gravillon compacté, hérissongement sur une épaisseur de 15cm,
- mise au point de la dalle pleine raccordé à la longrine la plus proche par un procédé de chemisage classique.

III-9-3-Réparation et reconstruction des parties endommagées des maçonneries

Les fissures profondes des murs intérieurs et extérieurs présentent un degré d'endommagement très fort pour cela la technique de remplacement physique de la partie endommagée est recommandée. L'objectif est de substituer le matériau de la partie fissurée et de la reconstruire avec des matériaux ayant une résistance équivalente. En ce qui concerne les murs en brique, il est recommandé de recourir au même matériau.

Le but de l'intervention consiste à rétablir la capacité portante initiale de l'élément endommagé. Il est nécessaire de combler l'ouverture du joint de rupture en utilisant du mortier de ciment. Il s'agit en particulier du mur de clôture qui doit être démolé et reconstruit conformément aux normes et aux règles de construction en vigueur.

III-9-4- Aménagement d'espace vert

La cour arrière est laissée à l'abandon et est donc une grande zone de ruissellement des eaux de pluie.

- Installer un système de récupération d'eau de pluie.

Pour ce faire, une série de travaux devront être réalisés :

- réalisation de grilles et caniveau en béton armé de longueur de 4 m,
- réalisé un écran anti racine en béton armé de profondeur minimal 2m, L'objectif de cet écran est de restreindre l'impact des racines des arbres sur l'équilibre hydrique du sol d'assise.
- supprimer l'espace vert et le remplacer par la construction d'un trottoir

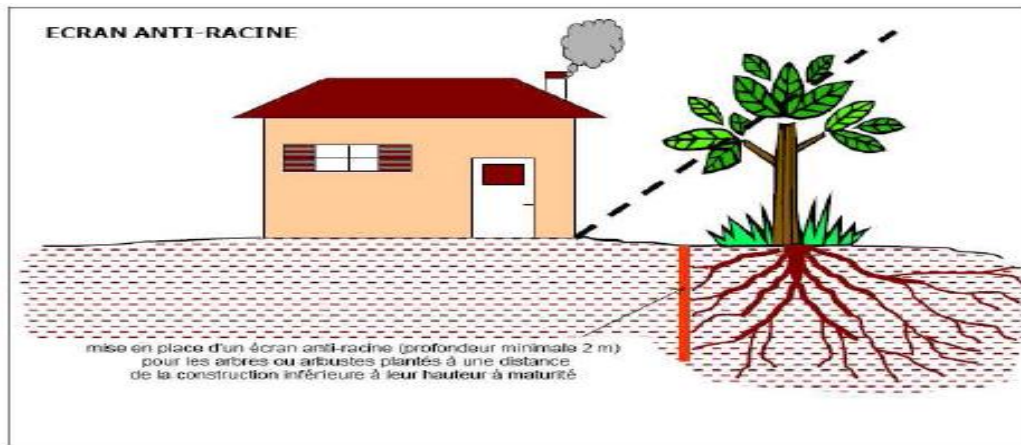


Figure n° III-23 : Exemples d'écran anti-racine

III-10- Conclusion

La plupart des désordres relevés sont en relation directe avec la nature du sol, très sensible à l'eau. La variation de l'état hydrique des sols et l'alternance des saisons sèches et humides déclenche des phénomènes de retrait et gonflement responsables des désordres apparents sur les maçonneries extérieures et intérieures.

Les conclusions font ressortir un certain nombre de points qui méritent d'être traités en l'occurrence :

- Les différentes pathologies au niveau des maçonneries sont d'ordre mécanique ;
- Manque d'entretien et absence de maintenance (manque d'avaloirs pour évacuer l'eau pluviale).
- Les déformations du sol dues à l'infiltration des eaux ont des sources différentes ;

En absence d'un système de drainage adéquat, l'arrivée accidentelle des eaux (eaux de ruissellement et d'assainissement) atteignent les fondations par infiltration et provoquent le phénomène de tassement responsable des dégradations apparentes sur les maçonneries. Enfin, les pathologies peuvent être apparentes ou cachées et afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, le diagnostic reste un travail nécessaire pour la prise des décisions appropriées en matière de maintenance et de réhabilitation.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le domaine de la mécanique des sols est très vaste voire complexe mais reste la base en génie civil et pour une meilleure compréhension des problèmes de pathologie des ouvrages de génie civil. A l'échelle de la ville de Saïda, les constructions objet de l'étude ne sont que des échantillons de manifestations du phénomène lié au comportement du sol sensible à l'eau. Il existe sans doute d'autres ouvrages plus ou moins affectés par des désordres et qu'il reste à recenser dans le cadre d'un plan d'investigation élargie à l'échelle communale. Les études d'expertise permettraient de mesurer l'ampleur et l'étendu du phénomène des pathologies liées au comportement des sols dit gonflants.

Les cas étudiés sont une illustration de l'action des eaux d'infiltration comme moteur de mouvement des sols expansifs. L'arrivée accidentelle des eaux, quel que soit son origine, est déterminante comme cause principale des pathologies des fondations et les dégradations qui s'en suivent. Tous les sols d'ancrage des fondations des ouvrages étudiés sont des sols fins caractérisés par un potentiel de gonflement marqué. L'essentiel était d'éviter la venue accidentelle des eaux en protégeant par la plastification la couche d'assise constituée d'argile. La réalisation d'un système de drainage et la mise en place d'un revêtement étanche sur les espaces autour des bâtiments pouvaient d'empêcher les infiltrations des eaux jusqu'aux fondations.

Les désordres relevés sont limités aux maçonneries et les bâtiments ne nécessitent pas un confortement ou un renforcement conséquent. À long terme les ouvrages expertisés peuvent subir les effets d'un tassement progressif de grande amplitude si des mesures de réparation ne seront pas envisagées court terme. Les solutions techniques préconisées doivent faire l'objet d'études de mise en œuvre conformément aux normes réglementaires. La protection des sols d'assise des fondations contre le phénomène d'infiltration des eaux reste donc une mesure indispensable pour la stabilité et la durabilité des ouvrages. Enfin, un bon diagnostic reste la condition sine qua non pour un plan d'intervention et de réhabilitation orienté par des études de mise en œuvre.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **AbboubHadjer, KeddariKhadra (2021).** «Pathologies des fondations superficielles désordres, causes et remèdes ».Mémoire de Master l'Université de Saïda - Dr. Moulay Tahar. Département génie civil Spécialité : Géotechnique.
- [2] **B Coppieters, L Stroobants et A Boussada.** « Les problèmes d'humidité dans le logement, le centre urbain absl».
- [3] **Bekouche H.** «Traitement par ciment des sols gonflants non saturés (Cas de la région des Aurès)».These de doctorat 3 ème Cycle en Géotechnique .l'Université de Batna 2.2018, 2017.
- [4] **Belaib F (2006).** «Etude expérimentale de l'effet de là l'enrobage de supports solides par des polymères conducteurs sur leur capacité de rétention des cations métalliques en solution aqueuse par adsorption» .Thèse de doctorat de l'université de Constantine-Algérie.
- [5]**Bell F. G, Tyrer M J.Limestabilisation and claymineralogy**". Proc. Conf. Found. And Tunnings-87. Eng. Technics. Press. 2, 1-7, 1987.
- [6]**Benaïssa Mohamed (2011).** «Étude expérimentale sur la stabilisation des sols gonflants de la région de Mostaganem et de Relizane». Mémoire de magister l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Département de génie civil.
- [7] **BenslimnaneIkram, TaïbiNaïmaAhlem (2020).**«Diagnostic de pathologies de bâtiment Le cas du siège CACOBATPH à Saïda».Mémoire de Master l'Université de Saïda Dr Moulay Tahar. Département génie civil.
- [8] **Bigotget C.** « les reconnaissances des sols pour les bâtiments ». bulletin des laboratoires des ponts et chaussées. direction régionale de l'équipement de l'Ile de France 1990.
- [9] **C H Makhloufi.**« Influence de l'ajout pouzzolanique (argile cuite) sur les caractéristiques physico-chimiques des ciments».univercité de Mohamed Boudiaf de M'sila 2006.
- [10] **CambeforH.**Géotechnique de l'ingénieur et reconnaissance des sols. Eyrolles éditeur, Paris, 1972.
- [11]**Charradi Khaled.** Contribution des argiles ferrières à l'élaboration de biocapteurs ampérométriques : Etude de l'interaction de l'hémoglobine avec des argiles et des hydroxydes doubles lamellaires, Université de Grenoble 2010.
- [12] **Charrue B, FredetJ, CoutéP.** «Le guide du diagnostic des structures». Chez Moniteur. édition Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat 2004. 759 pages.
- [13] **Claude, Laurent SACCARO.**PROCEDE HUMI-STOP ELECTRO-DRAINAGE : Sols, Bâtiment et Ouvrages d'art, document en ligne <http://www.yumpu.com/fr/document/read/9622805/télécharger-la-documentation-complète-procède-humi-stop>.

Bibliographie

- [14] **Dr Ouzza Kheira.**«Réhabilitation des structures ». (polycopié), Université d'Oran 2014-2015.
- [15] **Fiches pathologiques du Bâtiment**». AQC 75008 Paris).
- [16] **FREEAH F** «Prise en compte du gonflement pour le dimensionnement des fondations superficielles». Thèse présentée pour obtenir le diplôme de magister en Génie Civil Université de Batna (2006).
- [17] **Gaudier-Brzeska- Saint Jean de Braye.**« Les fondations superficielles». Lycée du B.T.P.
- [18] **Gerard Philipponnat.** « Fondations et ouvrages en terre». éditions EYROLLES 1979.
- [19] **Ghadjetti Zahia, Zaidi Souad Nor el Houda (2019-2020).**«Traitement des sols argileux par la chaux et la poudre du déchet de brique rouge». Mémoire de Master I l'Université 8 Mai 1945 Guelma. Option : Géotechnique Département de génie civil.
- [20] **Hamed Aboukacem Moutie (2019-2020).** «Diagnostic des ouvrages en béton armé : Cas du centre intensif des langues à l'université de Biskra» .Mémoire de Master I l'Université Mohamed khider –Biskra. Département de génie civil.
- [21] <https://www.toutsurlebeton.fr/entretien/fissuration-dune-dalle-de-beton-causes-et-solutions/>
- [22] **Kerrache Ghaouti (2001).**«Impacts du pré-aménagement sur les formations forestières: cas de la forêt de Fenouane (Commune de Ain El Hadjar, W de Saïda, Algérie)». Thèse de Magister université de Tlemcen.
- [23] **Logeais L.** «La pathologie des fondations : causes des désordres et remèdes». éditions du Moniteur technique, Paris 1985, 158 pages.
- [24] **Lyal Addeleson.**«Le défaut de la construction 1993».
- [25] **M.H.U.V.** «**Règles parasismiques Algériennes RPA 99/Version 2003**». DTR B C 2 48, Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique 2003.
- [26] **Magnan J-P (2000)** .Déformabilité des sols Tassements Consolidation, en ligne: [http : // www. Techniques – ingénieur. fr / base – documentaire / construction – et – travaux -publics/3/ géotechnique - 42238210 / déformabilité – des – sols – tassements - consolidation-214/presentationc214niv10001](http://www.Techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics/3/géotechnique-42238210/déformabilité-des-sols-tassements-consolidation-214/presentationc214niv10001).
- [27] **Mamoune A.** «Contribution à la mesure, prévision et modélisation du comportement des sols expansifs ».Thèse Magister l'Université Abou bakr Belkaid, Tlemcen 2002.
- [28] **Mekki Lakhdar (2006).** «**Méthodologie d'étude et techniques d'identification des paramètres de comportement des sols fins soumis à des cycles de sécheresse prolongée (application aux argiles expansives de M'sila)** ».Université Mohamed Boudiaf M'Sila.
- [29] **Mordi Khelifa.**«Synthèses Hydrogéologique de la région de Saïda». Agence Nationale des ressources hydraulique (ANRH), Direction régionale de Saïda 2008.

Bibliographie

- [30] **N. Jozja.** « Étude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation "multi échelle" d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité». Thèse de doctorate, l'Université d'Orléans 2003.
- [31] **Nowamooz H (2007).** « Retrait/Gonflement des sols argileux compacts et naturels». Thèse de doctorat Ecole Nationale Supérieure De Géologie.
- [32] **Ouardas T.** «Sédimentologie des grès de Sidi Amar ou grès de Franchetti dans les Monts de Saida et les Monts de Daïa (Algérie) ». Thèse de Doctorat Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1983.
- [33] **OumazizR (décembre 2006).** introduction à l'analyse du diagnostic du bâti.
- [34] **OuzzaKheira .**«Réhabilitation des structures ». (polycopié) Université d'Oran 2014- 2015.
- [35] **Philipparie P.** « La pathologie des façades : diagnostic, réparation et prévention». Guide de pathologies des bâtiments. AQC (Agence qualité construction), CSTB édition Paris 2011. 179 pages.
- [36] **Roufia Belhend (2019-2020).** «L'étude de la propagation des fissures d'une argile sous dessiccation». Mémoire de Master Université Mohamed khider Biskra .Option : Géotechnique Département de génie
- [37] **Semcha A, BenhamouY, AmeerM, Mekerta B, Kazi-AoualF ,SadokA.**«Pathologie des sols dans la région de Saïda». actes du 3ème colloque international sur les sols non saturés 15 et 16 novembre UNSAT Batna 2015.
- [38] **Station Météorologique de Saida.** Température Moyennes de la région de Saida 2013.
- [39] **TesariI, Mattheck C, &BethgeK.****Roots and buildings,** Transactions on the Built Environment vol 66, 2003 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3509.
- [40] **Van der Waals** (Camille, 2010).
- [41] **Wei X, Hattab M, Fleureau JM, Hu RL(2013).** Micro-macro- experimental study of twoclayeymaterials on drying paths. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 72:495-508.

LES ANNEXES

**UNIVERSITE DESAÏDA-Dr MOULAY
TAHAR FACULTE DE TECHNOLOGIE**

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE
L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN GENIE CIVIL**

OPTION: CONSTRUCTION CIVILE ET INDUSTRIEL

Thème

**Expertise D'un ville de Saïda: Etude de cas de la bibliothèque
centrale de l'université EX (INES)**

(causes et remèdes)

Présenté par

Mr. Bouzid Ibrahim khalil

Mlle. Dani Fadila

Soutenu en Juin 2017, devant le jury composé de:

M. TOUIL B..... Président

M. DERFOUF Feth Ellah Mounir..... Encadreur

M. BELOUADI L..... Examineur

M. SELLA F. L..... Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

جامعة سعيدة - د. موالى الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie civil

Spécialité: Géotechnique

Diagnostic de pathologies de bâtiment

Le cas du siège: CACOBATPH à Saïda

Présenté par:

Benslimnane Ikram

Taïbi Naïma Ahlem

M.Derfouf FethEllah/M

.....MC... "A"

Président

M.Belouadi Larbi

.....MC... "A"

Encadreur

M.Touil...Brahim.

.....MC... "B"

Examineur

Année universitaire 2019/2020

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

جامعة سعيدة - د. موالى الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

Projet de fin du cycle

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Pathologies des fondations superficielles désordres, causes et remèdes

Présenté par :

ABBOUB Hadjer

KEDDARI Khadra

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

M.Derfouf.F /M Maitre de Conférences "A"..... Président

M. Belouadi Larbi Maitre de Conférences "A"..... Encadreur

M.Sedik Benali Maitre Assistant "A"..... Examineur

Année universitaire 2020/2021

Unité Oued Smar - TEL/FAX : 021.51.61.53 - TEL: 021.51.62.62 - 021.51.33.30

L.N.B.C.
ANTENNE
SAIDA
PARAPHE

Sondage N°: SC01

CLIENT : DEP SAIDA

BOUE DE FORAGE : EAU

TYPE FORAGE : ROTATIF

TYPE DE MACHINE :

[illegible]

Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité Oued Smar - TEL/FAX : 021 51 61 53 - TEL 021 51 62 62 - 021 51 33 30

L.N.H.C.
ANTENNE
SAIDA
987 A

ETUDE : Réalisation d'un college type 7/300 LIEU : SAIDA CLIENT : DEPSAIDA										Sondage N°: SC02																			
DATE DEBUT : 24/01/2024 DATE FIN : 29/01/2024 NIVEAU NAPPE : m										PROFONDEUR TOTALE : 12 ML COORDONNEES : X = Y = Z =										BOUE DE FORAGE : EAU TYPE FORAGE : ROTATIF TYPE DE MACHINE :									
Prof (m)	Récupération				S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	w _n %	γ _d Tm³	I _p %	C _u I.P.C	Type Bsa										
	0	25	50	75																100									
1,0												Remblai Chaotique																	
2,0																													
3,0												Argile mameuse marron localement verdâtre.																	
4,0																													
5,0																													
6,0																													
7,0												Mame marron à tache jaunâtre indurée en profondeur.																	
8,0																													
9,0																													
10,0																													
11,0																													
12,0																													
13,0																													
14,0																													
15,0																													
16,0																													
17,0																													
18,0																													
19,0																													
20,0																													

Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité Oued Smar - TEL/FAX : 021 51 61 53 - TEL: 021 51 62 62 - 021 51 33 30

L.N.H.C.
ALGERIE
2010

Sondage N°: SC03															
ETUDE : Réalisation d'un college type 7/300 LIEU : SAIDA CLIENT : DEP SAIDA															
DATE DEBUT : 24/01/2024 DATE FIN : 29/01/2024 NIVEAU NAPPE : m			PROFONDEUR TOTALE : 15 ML COORDONNEES : X = Y = Z =			BOUE DE FORAGE : EAU TYPE FORAGE : ROTATIF TYPE DE MACHINE :									
Prof (m)	Récupération φ 25 50 75 100	S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant Profond ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	w _n %	γ _d Tn ³	I _p %	C _{uc} TPC	Type Bess
1,0								Remblai Chaotique.							
1,60								couche du Béton.							
2,0						2,20									
3,0						2,50									
4,0	85%					3,50									
5,0						3,80									
6,0															
7,0															
8,0															
9,0															
10,0															
11,0	97%														
12,0															
13,0															
14,0															
15,0															
16,0															
17,0															
18,0															
19,0															
20,0															

Argile marnreuse verdâtre avec un passage de la roche gréseuse entre 11.00 m à 11.50 m en profondeur.



MINISTÈRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

E.P.I./S.P.A. AU CA TAL DE 150.000.000 DA - R.C. N°00813183 IS/00

Direction:.....



UNITE DE SIDI BEL ABBES

Le : 07/03/2024

Structure : SAIDA

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ESSAIS

Intitulé du projet		Réalisation d'un collège type 07/300 Brachemi Mustapha commune de Saida				
Sondage / Puits		SC 01		SC 02	SC 03	
Profondeur (m)		2.50/3.00	4.50/5.00	3.00/3.50	2.20/2.50	3.50/3.80
Densité sèche	γ_d (t/m ³)	1.86	1.69	1.83	1.75	1.61
Teneur en eau pondérale	W (%)	15.90	16.60	15.10	15.40	22.10
Degré de saturation	Sr (%)	94	75	86	76	89
Densité humide	γ_h (t/m ³)	2.15	1.97	2.11	2.02	1.97
Granulométrie	5 mm	97	98	98	100	97
	2 mm	95	96	95	98	86
	0.08 mm	90	92	84	95.60	82.00
Sédimentométrie	20 μ m	65	66	64	78	64
	2 μ m	9	10	13	23	7
Limites d'Atterberg	W _L (%)	46.18	49.00	47.60	58.25	49.26
	I _P	21.83	22.33	24.98	30.37	26.86
	LR (%)					
Indice de consistance	IC					
Équivalent de sable	E.S					
Poids spécifique	γ_s (t/m ³)					
Résultats oedométriques	P _c (Bar)	2.00	1.54	1.98	1.80	1.61
	C _t	0.100	0.117	0.175	0.088	0.131
	C _g	0.011	0.015	0.036	0.021	0.042
	P _g (Bar)	0.52	0.74	0.62	0.60	0.72
Courbe de consolidation	E					
	C _v (cm ² /s)					
Gonflement Libre	GL (Bar)					
Références Proctor	$\gamma_{d\max}$ (t/m ³)					
	W _{OPT} (%)					
Indice C.B.R à 95 % de l'OPM	I _{CBR} (%)					
Résistance à la compression	R.C.S (Bar)					
Cisaillement rectiligne ou Triaxial	Type d'essai	CU		CU		CU
	C (bar)	0.47		0.62		0.65
	ϕ (°)	9.68		13.12		12.67

LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE



MINISTERE DE L'HABITAT DE L'URBANISME ET
DE LA VILLE

المخبر الوطني للسكن والبناء

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

E.P.E./ S.P.A. AU CAPITAL DE 150.000.000 DA - R.C. N°008 13183-16/00

DIRECTION REGIONALE OUEST

UNITE DE SIDI BEL ABBES

ETUDE DE SOL

REALISATION DE LA NOUVELLE SIEGE DE CACOBATPH
A SAIDA

CACOBATPH SAIDA

DOSSIER N°41/110/2018

RAPPORT:095/ 2018

SEPTEMBRE 2018



Lab-Analyse & Engineering

FORMULAIRE D'ENREGISTREMENT ESSAI

RAPPORT DE SONDAGE

DENOMINATION, DESCRIPTION, ET CLASSIFICATION DES SOLS

NF P 94-400-1

ETATS (échantillons):

CLIENT : DTP SAIDA

PROJET: D'ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA TREMIE SUR
RNs RELIANT LA ZONE INDUSTRIELLE ET LA CITE
UNIVERSITAIRE.



Carottier

Sondage N°: 02

Position: Nord: /

Diamètre carottier:



Intact

Date: 24/08/2013

Est: /

101 mm



Perdu

Profondeur: 10 m

Élévation: /

Page: 1/1



Remanié

Profondeur (m)

Log (coupe)

Description lithologique

Récupération (%)

Etat

Niveau d'eau

1,70

Remblais hétérogène

Formation argile limoneuse compacte à moyennement
compacte plastique de couleur Verdâtre.

97.5 %

10.00

Fin du forage


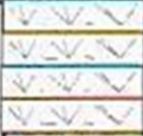
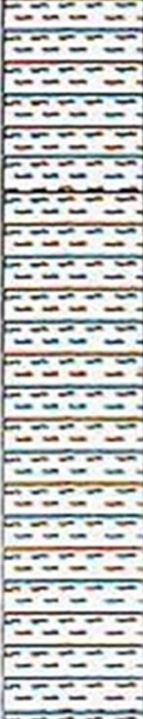
Sondage N°: 01

DATE DEBUT :
DATE FIN :
NIVEAU NAPPE : m

PROFONDEUR TOTALE : 10 ML
COORDONNEES : X= Y=
Z=

BOUE DE FORAGE :
TYPE FORAGE :
TYPE DE MACHINE :

Prof (m)	Récupération					S.P.T	R.Q.D	Ø Tub	Ø Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	Φ _u (°)	W _n %	γ _d T/m ³	I _p %	Class. LPC	Type Essai
	0	25	50	75	100															
0,5													Remblai							
1,0																				
1,5													1,50							
2,0													Calcaire marneux avec passage gréseux							
2,5																				
3,0																				
3,5																				
4,0																				
4,5																				
5,0																				
5,5																				
6,0																				
6,5																				
7,0																				
7,5																				
8,0																				
8,5																				
9,0																				
9,5																				
10,0													10,00							

 Lab-Analyse & Engineering		FORMULAIRE D'ENREGISTREMENT ESSAI			
		RAPPORT DE SONDAGE			
		DENOMINATION, DESCRIPTION, ET CLASSIFICATION DES SOLS			
		NF P 94-400-1			
ETATS (échantillons):		CLIENT : DTP SAIDA	PROJET: D'ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA TREMIE SUR RN06 RELIANT LA ZONE INDUSTRIELLE ET LA CITE UNIVERSITAIRE.		
<div> <div>Carottier</div> <div>Intact</div> <div>Perdu</div> <div>Remanié</div> </div>		Sondage N°: 02 Date: 24/08/2013 Profondeur: 10 m	Position: Nord: / Est: / Elevation: /	Diamètre carottier: 101 mm Page: 1/1	
Profondeur (m)	Log (coupe)	Description lithologique	Récupération (%)	Etat	Niveau d'eau
1,70		Remblais hétérogène			
		Formation argile limoneuse compacte à moyennement compacte plastique de couleur Verdâtre.	97.5 %		
10.00		Fin du forage			