

الجمهورية الجزائرية
الديموقراطية 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 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

Taibi Naïma Ahlem

M. Derfouf Feth Ellah/M	 MC... "A"	Président
M. Belouadi Larbi	 MC... "A"	Encadreur
M. Touil...Brahim.	MC... "B"	Examineur

Année universitaire 2019/2020

Résumé

L'étude des pathologies des ouvrages en génie civil consiste en l'analyse des processus susceptibles d'entraîner des désordres et des sinistres dans les bâtiments. Le siège de CACOBATH sis dans la ville de Saïda est un cas intéressant d'analyse de pathologie des ouvrages de génie civil. Une telle étude est indispensable pour prévenir les dégâts et maintenir l'état du bâtiment voire réhabiliter les structures en cas de défaillances. La présente étude porte sur l'analyse d'un cas de pathologie lié au comportement du sol sensible à l'eau. L'étude se repose sur un diagnostic basé sur des visites in-situ appuyées par un inventaire, relevés et photographies des désordres. Le rapport géotechnique, les plans de l'ouvrage et autres expertises réalisés par le CTC constituent l'essentiel de l'outil d'analyse. Cette dernière s'attache à recenser de manière synthétique et plus ou moins exhaustive tous les désordres affectant l'ouvrage et déceler les causes des désordres ainsi que les facteurs d'influence aggravant les dégradations observées. Enfin, l'étude s'achève par une série de solutions techniques et recommandations susceptibles à remédier l'ensemble des pathologies constatées.

Mots clés : pathologie, désordres, diagnostic, causes, tassement, sol gonflant, réparation.

Abstract

The pathologies study of civil engineering works consists in analyzing the processes that are liable to cause disorders and disasters in buildings. The CACOBATH headquarters in Saïda is an interesting case of pathology analysis of civil engineering works. Such a study is essential in order to avoid damage and maintain the state of the building or even rehabilitate the structures in the event of failure. The present study concerns the analysis of a pathological case of disorders linked to the behavior of water-sensitive soil. The study is based on a more or less precise diagnosis based on in-situ visits supported by records and photographs of the disorders. The geotechnical report, the plans of the work and other appraisals carried out by the CTC constitute the main part of the analysis tool. The latter endeavors to identify in a synthetic and more or less exhaustive manner all the disorders affecting the structure and to detect the causes of the disorders as well as the influencing factors aggravating the degradations observed. Finally, the study ends with a series of technical solutions and recommendations likely to remedy all of the pathologies observed.

Keywords: diagnosis, pathology, disorders, Swelling soils, settlement, repair

ملخص

إن دراسة ظاهرة تشقق و تصدع المباني تتضمن عمليات تحليل لأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى اضطرابات و كوارث. إن المقر الرئيسي للصندوق الوطني مدفوع الأجر و البطالة للعطل لقطاع البناء و الأشغال العمومية (CACOBATH) بمدينة سعيدة هو حالة مثيرة للاهتمام لدراسة حالة تشقق و تصدع مباني الهندسة المدنية. هذه الدراسة ضرورية لمنع الضرر و الحفاظ على حالة المبنى أو إعادة ترميمه لتأهيله مجددا في حالة تعرضه لاضطرابات. تتعلق هذه الدراسة بتحليل حالة تشقق و تصدع البناء المرتبطة بتغير الخصائص الفيزيائية للتربة الحساسة للماء. تعتمد الدراسة على تشخيص دقيق بناء على زيارات ميدانية مدعومة بتسجيل و تصوير الاضطرابات التي تم إحصاءوها. يشكل التقرير الجيوتقني و المخططات المعمارية و التقييمات التي قام بها مركز المراقبة التقنية للمباني (C.T.C) الأدوات الرئيسية للتشخيص و التحليل. تسعى هذه الدراسة إلى إحصاء شامل لجميع الاضطرابات التي تؤثر على البناية و معرفة الأسباب و كذلك العوامل التي تفاقم في التشقق و التصدع الملحوظ , و أخيرا تقترح الدراسة سلسلة من الحلول التقنية و التوصيات التي من المرجح أن تعالج جميع الاضطرابات التي تم ملاحظتها.

الكلمات المفتاحية : تشخيص, اضطرابات, تربة منتفخة, أسباب, إنخساف , ترميم.

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **Allah** le tout puissant, de nous avoir guidé tout au long de nos années d'études et de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour achever ce travail*

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus cordiaux et notre vive reconnaissance à notre encadreur qui a bien voulu accepter de diriger ce travail, pour son encouragement, ses conseils précieux, sa disponibilité, ses suggestions pertinentes, ses critiques constructives et pour sa patience tout au long de ce projet et sans lesquels, ce travail n'aurait pu aboutir.

*Nous adressons nos vifs et sincères remerciements à M. **BENAHMED**, qui nous a donné la chance de visiter le laboratoire de travaux publics et de pouvoir mener des essais géotechniques. Il ne nous a épargné aucune information.*

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.

*Finalement un grand merci à toute l'équipe du laboratoire de **LTPO**, pour leur aide précieuse, leur implication, leur soutien, et leur gentillesse.*

Dédicaces

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :

*À l'homme, mon précieux offre du dieu qui doit ma vie ma réussite et tout mon respect :
mon cher papa.*

*À l'être le plus cher de ma vie ma mère qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a
jamais dit non âmes exigence et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse.*

*À mes chers frères et sœurs et toute ma famille et toute personne qui porte le nom
BENSLIMANE.*

*À tous mes amies qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès. Sans
oublier mon binôme ma chère amie NAIMA pour son soutien morale sa patience et sa gentillesse.*

En fin à tous ceux que j'aime.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Pathologies, investigations et diagnostic

Chapitre II : Etude de cas pathologique

Chapitre III : Campagne géotechnique

Chapitre IV : Interprétation des désordres et remèdes

Conclusion générale

Bibliographie sélective

Annexe

Table des matières

Introduction générale

Le phénomène des pathologies des ouvrages de génie civil est largement répandu et pose de sérieux problèmes aux gestionnaires et institutions techniques spécialisées de la construction (ingénieurs des bureaux d'études et laboratoires, entreprises de réparation...). En dépit des avancées qu'ont connu les sciences de la géotechnique et les moyens d'investigation, le phénomène de pathologie n'est pas suffisamment pris en charge en matière d'étude et de réhabilitation.

La ville de Saïda édiflée sur un site de confluence de deux oueds a vu son développement urbain se faire sur des terrains problématiques en particulier les extensions Nord et Est. La nature des sols souvent argileux et les dégradations correspondantes prennent de l'ampleur depuis une dizaine d'années. Certains ouvrages connaissent un état de dégradation avancé et attestent de l'existence effective de désordres liés au comportement du sol d'assise des fondations. Saïda a bénéficié dans le cadre des études d'urbanisme d'études géotechniques¹ préalables aux projets de construction. Aussi, chaque secteur d'urbanisation prévisionnel est couvert par une campagne géotechnique nécessaire pour tout projet de dimensionnement d'un système de fondations adéquat. L'analyse statistique des résultats des rapports géotechniques élaborés à cet effet a conclu à la prédominance des sols fins avec un taux de représentativité de 62,69 %. Plus de la moitié (50,75 %) des sites étudiés sont des sols marneux suivis par des sols argileux avec 35,82 %. Globalement, les sols plastiques occupent une place importante. En termes de potentiel de gonflement, les sols étudiés ont un potentiel de gonflement qualifié de fort² pour 19,40 % des sols étudiés et près de 6% sont des sols moyennement sensibles au 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 [20].

En Effet, la ville de Saïda et sa région proche se caractérise par un climat semi-aride à grandes variations climatologiques et un contexte géologique dominé par des formations argileuses appelée « Argiles de Saïda » [5]. Ces trois dernières décennies ont été marquées par des périodes de sécheresse et d'inondation particulièrement dévastatrices. La conjugaison du type de climat et

¹ Soit 67 rapports géotechniques élaborés par différents laboratoires d'études géotechniques.

² Il est à préciser que le 3/7 des études élaborées, les essais œdométriques n'ont pas été effectués soit 45% de l'ensemble des études consultées.

la géologie particulière constituent pour la ville et ses extensions urbaines des prédispositions suffisantes à l'apparition de cas pathologiques liés au comportement du sol d'assise. Plusieurs cas pathologiques liés au comportement de sols dit « gonflants » sont recensés dans la ville et ses extensions. Toutefois, quelques cas ont fait l'objet d'études d'expertise. Les fissures et les affaissements sont les manifestations les plus récurrentes affectant aussi bien la superstructure que l'infrastructure et dont les causes sont liées souvent au phénomène de retrait-gonflement.

Aussi, la sensibilité au phénomène du retrait gonflement des argiles et le degré d'exposition des ouvrages en génie civil aux risques qu'il génère fait de la ville de Saïda un sujet particulièrement intéressant pour l'étude de cas de pathologie des ouvrages en génie civil.

Le présent mémoire porte sur l'étude de cas de pathologie d'un édifice public en l'occurrence le siège de la CACOBATPH à Saïda. L'objectif de ce travail consiste de connaître à travers une étude de cas les mécanismes de dégradation de bâtiment à partir de l'état général du bâtiment objet de la présente étude et les causes directes ou indirectes responsables des dégradations observées afin de justifier des actions correctives appropriées à même d'assurer la durabilité du bâtiment concerné et la sécurité des utilisateurs.

Afin d'atteindre les objectifs assignés à ce travail, la méthode d'approche adoptée s'articule autour de quatre axes :

- **Le chapitre-I** est un aperçu théorique des pathologies et des causes correspondantes et les méthodes d'investigations et de diagnostic appropriées.
- **Le chapitre-II** est consacré à l'étude de cas où il est recensé et relevé tous les désordres constatés. Cette démarche pratique est appuyée par des visites in-situ et un reportage de photos illustratives commentées.
- **Le chapitre-III** est une interprétation des données de la campagne géotechnique du sol.
- **Le chapitre-IV** est consacré à l'interprétation des désordres et leurs causes probables appuyée par les données géotechniques et les conclusions de l'expertise. Il se termine par une série de recommandations et solutions techniques susceptibles d'y remédier et permettre l'exploitations de l'établissement dans des conditions normales.

Chapitre I : Pathologies, investigations et diagnostic

Introduction

Les ouvrages peuvent être exposés aux multiples agents agressifs et montrent des signes de vieillissement et de détériorations au cours de leur vie. Ils nécessitent alors des travaux d'entretien, de réparation ou de confortement et cela pour une restitution ou une augmentation de son 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 [5].

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. La conduite du diagnostic doit adopter un phasage en respectant des étapes d'investigation où la rigueur et l'observation directe, la plus détaillée possible, des dégâts permettent de catégoriser les altérations visibles.

Ce chapitre a pour but de présenter les différents types de pathologies des ouvrages et la méthodologie de diagnostic ainsi que les techniques d'investigation effectuées dans le béton, sur la maçonnerie et de caractérisation du sol d'assise de l'ouvrage.

I-1- Pathologies des ouvrages

Selon le dictionnaire *Larousse*, la pathologie est l'étude des maladies et des effets morbides qu'elle entraîne. C'est l'ensemble des manifestations d'une maladie 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'exécution ...etc.) C'est-à-dire l'étude des désordres affectant un bâtiment ou un matériau en œuvre. Une étude des pathologies d'un

ouvrage se décompose en plusieurs phases. Elle commence par une visite de l'ouvrage accompagné d'un relevé détaillé des différentes pathologies observées sur l'ouvrage. Ensuite, le diagnostic doit mettre en évidence l'origine des pathologies pour préconiser d'une part le classement de l'état de l'ouvrage et d'autre part les travaux de réhabilitation à réaliser. Parfois, la pathologie est qualifiée de désordre. Il s'agit souvent à une anomalie de fonctionnement d'aspect de solidité, etc. d'un équipement ou d'un ouvrage, du fait d'un défaut de conception, du fait d'une erreur de mise en œuvre, ou du fait d'un composant inadapté. Une étude pathologique comprend :

- L'observation et l'analyse des symptômes et de leur processus de formation, ainsi que des conditions de mise en œuvre.
- L'établissement d'un diagnostic sur les causes probables et sur les risques d'évolution du désordre.
- La recherche de remèdes ou traitements curatifs à envisager.

Un diagnostic précis pourra être posé dès la première visite et déterminera le mode de réparation approprié.

I-1-1- Les différentes causes des pathologies

Le classement des causes principales de désordres affectant les ouvrages en béton armé correspond à un classement type basé sur la division des responsabilités entre les concepteurs (y compris les calculs) et les réalisateurs (exécution sur chantier). Ainsi, les pathologies peuvent être classées en plusieurs familles :

- les dégradations superficielles;
- les déformations;
- les fissurations;
- les dégradations d'ordre structurel.

Les causes principales sont :

- les erreurs de conception ;
- les erreurs de calcul ;
- les dispositions défectueuses (liaisons, ferrailage, transmission des efforts) ;
- les déformations excessives ;
- l'effet des variations dimensionnelles ;

- les fautes d'exécution ;
- les causes extérieures liées au gel et aux attaques chimiques.

I-1-1-1- Pathologies liés au béton armé [14]

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 [2].

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 suite : 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.

I-1-1-2- Pathologies liée à l'instabilité des sols

L'instabilité du sol est l'une des causes principales des apparitions des désordres dans le bâtiment. Ces problèmes concernent surtout les sols fins tels que les sols argileux.

I-1-1-2-1- Tassement différentiel

Lorsqu'un sol tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y a un tassement différentiel. 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 [12].

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 du sol en présence de 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.

I-1-1-2-2- Retrait et gonflement des argiles

Les variations de teneurs en eau dans le sol en raison de l'évapotranspiration sont à l'origine du phénomène de Retrait/gonflement des argiles. Ces variations influencent le comportement des sols argileux. Ce type d'argile dite gonflante est dur et cassants lorsqu'ils sont desséchés, 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 sèche [4].

I-1-1-2-3- Affaissement de terrain

Les affaissements de terrains sont des phénomènes lents et progressifs et peu perceptibles. Leur processus peut se dérouler sur plusieurs années et les propriétaires des constructions n'observent ou voient l'apparition de fissures sur leur maison que lorsque les dégâts deviennent importants, qu'ils prennent conscience du danger encourus. Les principales causes d'affaissement sont dus à l'assèchement de l'argile, l'inondation, les sols trop mous et enfin la mauvaise conception.

I-1-1-3- Pathologies affectant la maçonnerie

Les désordres affectant la maçonnerie peuvent être classés en deux catégories selon qu'ils résultent d'un défaut de résistance mécanique de l'ouvrage ou bien qu'ils affectent les autres fonctions de la paroi en maçonnerie mais ne mettent pas en cause la solidité de l'ouvrage. [13]. Cependant, il est nécessaire de distinguer les pathologies existantes à l'origine, tels que le bullage et les nids de cailloux, et celles apparaissant dans le temps comme les fissures. On distingue plusieurs pathologies dont on cite quelques définitions :

I-1-1-3-1- Les fissures ou lézards d'inclinaison de 45° (Les fissures obliques)

Les fissures inclinées à 45° sont observables à l'intérieur de la construction suivant les joints des blocs de maçonnerie. Elles sont de l'ordre du millimètre et peuvent atteindre un (1) centimètre et plus. Ce sont des fissures inclinées dit lézardes. C'est une longue fente qui, dans la maçonnerie d'une construction, suit en zigzag une direction généralement franche ; elle traduit soit un mouvement ou un tassement du sol d'assise des fondations, soit une insuffisance ou une rupture

de chaînage. La lézarde intéresse toute l'épaisseur de la paroi concernée et elle peut être « infiltrante » et permettre à l'eau de pluie ou de ruissellement de la traverser.

Ce type de fissures traduit donc une déformation de l'assise du mur en un point ou une zone précise. Les aménagements intérieurs, (cloisons, carrelages...etc.) peuvent aussi subir les effets des mouvements verticaux des tassements. Les fissures consécutives à un tassement excessif du sol d'assise des fondations d'un mur font donc partie de cette catégorie.

Ces fissures sont comparables à celles résultant de l'effort tranchant d'une poutre. 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°. Elles apparaissent dans les maçonneries portées par 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 de fléchir, celles d'allure horizontale provoquées par l'appui des planchers sur les murs.

I-1-1-3-2- Les fissures et lézards horizontales ou verticales franches

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 (figure 1). Les fissures verticales sont visibles notamment au niveau de l'interface maçonnerie en briques et éléments structuraux en béton armé. La fissure s'est ouverte à mi-longueur de la façade. Les contraintes de la traction au niveau de l'acrotère n'ont pas pu être équilibrées par le ferrailage.



Figure 1 : Cas de dilatation d'un acrotère par effet de dilatation.

I-1-1-3-3- Les microfissures ou fissures horizontales et verticale

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 (figure 2). Elle ne compromet pas la solidité de l'ouvrage.



Figure 3 : fissure dit de plancher.

I-1-1-3-4- Les fissures autour des ouvertures

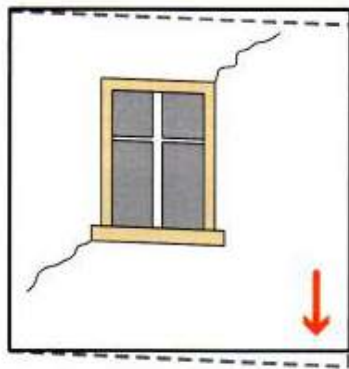
Ce type de fissures peut avoir plusieurs origines :

- elles peuvent être la conséquence de la déformation de l'ouverture d'un carré ou d'un rectangle parfait comportant des angles droits devient 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.



**Figure 4 : l'enduit a subi un retrait en excès.
Les fissures visibles dans les angles des fenêtres qui bloquent sa déformation.**

Effet d'un tassement :
fissuration suivant la diagonale de l'ouverture



Effet d'une dilatation en extrémité de façade :
fissuration suivant la diagonale de l'ouverture

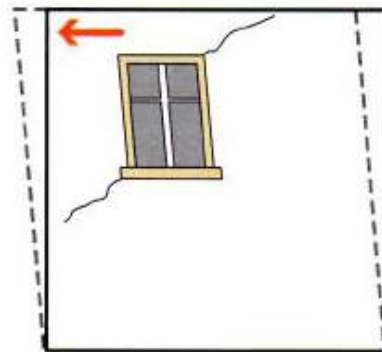


Figure 5 : fissures visibles dans l'angle des ouvertures

I-1-1-3-5- Les microfissures ou fissures en forme d'hachures

Les fissures en forme d'hachures visibles à la jonction entre un plancher et un mur porteur en maçonnerie résulteront souvent d'un mouvement relatif dans le plan horizontal du plancher par rapport au mur ; on parlera dans alors de fissures de cisaillement consécutives à la dilatation du plancher. Ce sont des fissures très étroites, à peine visible à l'œil nu (inférieure à 0.2mm).



**Figure 6 : le plancher des combles s'est dilaté et l'enduit s'est donc fissuré
suite à un cisaillement à la jonction entre le plancher et la maçonnerie.**

Un mur porté par une poutre peut aussi se fissurer si celle-ci se révèle défaillante et subi une déformation excessive. L'allure des fissures correspondantes peut prendre alors des formes

multiples suivant qu'elles s'ouvrent autour des ouvertures, le long d'un plancher, voire en partie courante. Il est difficile d'apporter une règle précise.

I-1-1-3-6- 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. Les revêtements adhérents mis sur une façade se fissurent lorsque leur support va lui-même subir une fissuration. Les enduits peuvent aussi se fissurer sans que leur support se fissure et se décollent le long des lèvres des fissures ce qui peut n'est pas sans conséquences néfastes sur l'esthétique de la façade. La fissuration d'un enduit peut avoir aussi un effet sur l'étanchéité de la façade. Il faut savoir que l'enduit qui recouvre la maçonnerie participe à son étanchéité.

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 (faïençage des enduits, microfissuration du béton).

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 façon générale, un béton ou un mortier a d'autant plus de retrait que sa concentration en ciment est importante. La mesure du retrait s'effectue sur des éprouvettes (4x4x16cm), d'une part sur la pâte pure, d'autre part sur le mélange constitué.

Les fissures qui en résultent sont propres aux enduits hydrauliques. Ces enduits à base de ciment se raccourcissent lors de la prise en se durcissant. Ce retrait est contrarié par le support qui fait corps avec l'enduit. Le dosage en ciment d'un enduit traditionnel conditionne son retrait ultérieurement et l'appariation d'une éventuelle fissure. La fissuration de retrait d'un enduit pourra se 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.

I-1-1-4- Caractères morphologiques d'une fissure

Toute fissure constitue le signe d'une première manifestation de désordres possibles, c'est ce qui explique, dans une certaine mesure, les préoccupations des constructeurs. Mais toutes les fissures ne sont pas dangereuses et ne présentent pas toutes la même gravité vis-à-vis de la destination des ouvrages. Les fissures ne sont pas dangereuses si elles ne compromettent pas la stabilité et la durabilité des ouvrages. Elles peuvent être inesthétiques. Certaines fissures peuvent compromettre la durée de vie des ouvrages telle que :

- les fissures parallèles aux aciers, conduisant à une corrosion rapide de ceux-ci, et à la destruction progressive des structures ;
- les fissures permettant des infiltrations d'eau dans des ouvrages qui sont destinés à être étanches ou à contenir des fluides (liquides ou gaz) ;
- les fissures d'ouvrages maritimes ;
- les fissures mettant en cause la stabilité des ouvrages en affaiblissant progressivement la résistance mécanique des éléments structuraux, et conduisant à l'effondrement final.

Afin de permettre le classement et l'analyse du phénomène général de la fissuration, on peut établir les caractères de la morphologie correspondante.

a) Orientation : verticale ; horizontale ; inclinée (préciser l'angle par rapport à l'horizontal) ; mixte (plusieurs directions) ; quelconque.

b) Tracé ou forme : rectiligne ; courbé ; quelconque ; simple, multiple et composé.

c) Emplacement : Il faut effectuer un repérage dans l'élément considéré (mur, cloison, etc.). La situation de la fissure correspond alors :

- pour fissures horizontales inclinées :
 - partie (ou zone) basse,
 - partie moyenne,
 - partie supérieure.
- Pour fissures verticales :
 - rives
 - parties latérales,
 - zone médiane,
 - emplacement divers.

d) Importance : en nombre (répétition, répartition irrégulière ou régulière) ; en longueur ou développé ; en largeur (mesurable, non mesurable ou variable, constante) ; en épaisseur (par rapport à celle de l'élément) : superficielle (non traversante), traversante partielle, traversante totale) ; fissures visibles à l'œil nu ; faïençage (réseau de microfissures) se présentant sous la forme d'un dessin géométrique à mailles régulières ; microfissures d'ouverture $\leq 0.2\text{mm}$; fissures proprement dites, d'ouvertures linéaires au tracé régulier dont la largeur est comprise entre 0.2 et 2mm ; par rapport au plan de l'élément: dans le plan, sans décalage ou avec décalage des parties adjacentes.

e) Particularités : date de la première apparition; certaines fissures apparaissent après quelques heures ou quelques jours, d'autres après plusieurs années ; effets secondaires, par exemple éclatement ou arrachement des parties adjacentes (par arrachement, il y a cisaillement ou traction, et par écartement, il y a compression) ; pénétration d'air, d'eau, etc.; tâches (humidité) ; destination des ouvrages.

I-1-1-5- Evolution morphologique de la fissure dans le temps

Il est important de connaître l'évolution des fissures avant de procéder à des réparations. Il ya lieu de parler alors soit de fissure arrêtée ou active. Dans le cas d'une fissure active, il est indispensable de connaître sa vitesse de propagation. C'est dire que le suivi et le contrôle de l'évolution de la fissuration est déterminant [15].

Certaines fissures peuvent "s'autocolmater", si les sollicitations à l'origine de la cause de fissuration cessent ; si certains cristaux se développent au droit de la fissure, sous l'effet d'une humidification qui provoque le gonflement du béton ou du mortier, le passage lent d'eaux chargées de chaux (Ca OH_2) puis CO_3 par carbonatation.

Seules, les fissures de retrait d'enduit peuvent être qualifiées d'inactives quand il s'agit uniquement d'un faïençage de faible intensité. En toute état de cause, il est toujours intéressant de suivre et apprécier l'évolution d'une fissure dans le temps. Le suivi de l'évolution de l'ouverture d'une fissure et de son extension a un intérêt particulier. Il s'agit de savoir si la pathologie est stabilisée ou en évolution. Cette information est fondamentale dans la mesure où elle renseigne sur la gravité de la situation et le cas échéant justifié l'évacuation du bâtiment concerné ou engagé une opération de confortement. Lorsque les fissures ont pour cause un tassement du sol d'assise des fondations d'un ouvrage, l'appréciation du caractère évolutif ou non de la pathologie déterminera le mode de réparation.

Il est faux de croire que les fissures consécutives à un tassement de sol peuvent se stabiliser au bout de quelques années alors que les fissures dites de retrait ou celles résultant de la dilatation excessive d'un ouvrage sont souvent inactives. Ce constat est sujet à caution si l'on tient compte des cas si nombreux qui prouvent le contraire [16]. L'inclinaison de la tour de Pise (Italie) ne s'est stabilisée qu'au bout d'un grand nombre d'années.

a) Fissures "stables" ou stabilisées (fissures mortes)

Préciser au bout d'une certaine période (à partir de leur apparition) si ce sont des fissures "stables ou stabilisées".

La stabilisation peut être immédiate (rapide) ou plus lente (après une période déterminée ou une variation climatique saisonnière).

b) Fissures "vivantes" ou évolutives (non stabilisées)

Une fissure est dangereuse selon la façon dont elle évolue. C'est à dire:

- en variations diurnes (effets de l'ensoleillement);
- en variations périodiques (saisonnières, déterminées par le chauffage ou l'occupation);
- en variations indéterminées (sans cause apparente ou relation de cause à effet).

Ces fissures actives sont dues :

- à la corrosion des armatures (carbonatation à cause d'un enrobage insuffisant) ;
- à des origines mécaniques (erreurs de conception ou d'exploitation) ;
- à des origines thermiques ;
- à l'alcali-réaction ou autres attaques sulfatiques ;
- aux cycles gel/dégel.

I-1-1-5-1- Le rebouchage des fissures

Le rebouchage des fissures par un enduit de calfeutrement permet aussi un suivi efficace au même titre que la pose des témoins visibles pour la surveillance des fissures. En ce qui concerne le bâtiment objet de la présente étude, des travaux de rebouchage des fissures et de peinture ont été réalisés au cours de l'année 2013. Cette première réparation a servi de témoin et 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 pour une solution définitive.

Il est donc recommandé de suivre l'évolution des fissures sur une période donnée. Lorsqu'elles sont importantes, elles peuvent permettre la pénétration des eaux de ruissellement pluviales ou de canalisation dans la structure et causer de sérieux dégâts.

La pose de témoins dans ce cas est indispensable pour suivre l'évolution des fissures. On peut citer par exemple :

- la méthode des plaques de plâtre,
- la méthode des vis,
- essai sclérométrique,
- essai d'auscultation sonore.

En conclusion, la plupart des fissurations sont dues à des phénomènes physiques (retrait, dilatation) concernant les matériaux soumis à différents types de sollicitations. Il faut distinguer les fissures superficielles ou faïençage et les fissures actives (évolutives). Les fissures de décollement entre différentes natures de matériaux (par exemple entre une ossature béton armé et les remplissages en maçonnerie d'éléments). Les fissures de rupture qui peuvent être traversantes (ou partielles) et qui correspondent à une sollicitation excessive (contrainte de traction ou de cisaillement supérieure aux "possibilités" du matériau).

Le faïençage est composé de microfissures en maille. Ces dernières, plus ou moins parallèles, apparaissent localement sur le béton ou sur les façades, avant sa rupture sous une charge excessive. Elles prennent l'aspect de craquelure superficielle des peintures, vernis, enduits et bétons, sous forme de fins réseaux de microfissures de largeur inférieure à 0.2 mm, disposées en mailles régulières fermées, de quelques cm de côté. Le faïençage traduit un retrait superficiel trop important ou trop rapide (remontée de liant en surface, couche trop épaisse). Contrairement aux fissures, qui affectent les matériaux dans toute leur épaisseur, les faïençages n'ont qu'un inconvénient esthétique. Sur un béton ou un enduit de ciment, un faïençage est mis en évidence en mouillant la surface).

I-2- Diagnostic et investigations

Parmi les objectifs du diagnostic est d'identifier l'origine des désordres pour en évaluer l'étendue dans l'espace et dans le temps. Ce procédé est fort intéressant dans la mesure où il permet l'estimation des conséquences des désordres sur la portance et la sécurité de l'ouvrage et des utilisateurs. Il s'agit de détecter des produits nocifs éventuellement présents dans l'ouvrage (amiante, plomb...) et définition des solutions de réparation ou de renforcement si nécessaire [9].

S'il s'agit de désordres similaires, il est nécessaire, dans un premier temps, d'essayer d'en déterminer la cause immédiate. Pour ce faire, l'observation détaillée doit identifier à quel

mouvement des lèvres correspond la fissure en question, et l'observation d'ensemble doit déboucher sur le dessin le plus précis possible du phénomène. Lorsque l'identification de la cause immédiate est constatée, il est nécessaire d'en trouver la cause lointaine en adoptant la méthode de la vérification des hypothèses. Autrement dit, il est nécessaire de savoir si le dommage a pour origine un phénomène passé ou récent, c'est-à-dire en cours de production.

I-2-1- Critères de choix des investigations

Le choix du type d'investigations est fondamental, il est réalisé par le biais de cinq critères :

I-2-1-1- Les besoins du gestionnaire

Le gestionnaire de l'ouvrage peut rencontrer trois situations :

- Il souhaite connaître l'état de son ouvrage à un instant donné. Il s'agit donc de réaliser un « bilan de santé » à titre préventif. Avant d'engager des travaux, le gestionnaire souhaite donc connaître l'origine de ces désordres pour définir des solutions de traitement adaptées.
- Dans le cadre de la surveillance, des désordres qui affectent le niveau de service peuvent être détectés sur un ouvrage.
- Dans le cadre de la surveillance, des désordres ont été détectés sur un ouvrage. Ils n'affectent pas le niveau de service mais leur origine n'est pas connue, ni leur ampleur et le gestionnaire souhaiterait connaître leur niveau de gravité et éventuellement leur potentiel d'évolution.

Selon le cas envisagé, les investigations pourront être plus ou moins complexes, plus ou moins ciblées et plus ou moins précises.

I-2-1-2-La fiabilité du dossier d'ouvrage

L'étape préalable à toute investigation dans le cadre d'un diagnostic est l'examen du dossier d'ouvrage. La consultation des plans et les investigations en sous œuvre permettent une connaissance précise des caractéristiques techniques des fondations. Le dossier d'ouvrage est un document vivant qui doit être mis à jour régulièrement. Il est indispensable de disposer d'un dossier d'ouvrage afin d'avoir :

- les éléments de dimensionnement (notes de calculs, charges d'exploitation, etc...),

- les plans de récolement ou à défaut les plans d'exécution,
- l'historique des changements des conditions d'exploitation (évolution du niveau de service de l'ouvrage, dragage, surcharges, rehaussement du quai, etc...),
- les opérations d'entretien avec leurs périodicités,
- les réparations, etc....

I-2-1-3-Le type d'ouvrage

La connaissance de la structure, son époque de construction et son mode de fonctionnement permet d'orienter l'implantation des investigations (interaction sol/eau/structure). Cette première étape permet de faire un diagnostic sommaire sur les mécanismes de dégradation. Ce dernier aidera pour le choix de la nature de l'investigation. La typologie de l'ouvrage s'appuie en premier lieu sur l'identification de la structure. L'objectif est d'en déterminer :

- ***Le fonctionnement mécanique et hydraulique de l'ouvrage :***

La géométrie et les conditions aux limites de la fondation sont-elles connues à ce stade (fondations, nature du sol support, etc...) ? Quel est le fonctionnement hydraulique (piézomètre, dénivelée hydraulique, circulation d'eau interne) ?

- ***Le matériau constitutif de la structure :***

S'agit-il de béton armé, de béton précontraint, de métal ou de maçonnerie ? En second lieu, il convient d'identifier le mode de construction : s'agit-il d'une structure en béton préfabriquée ou coulée en place ?

- ***Quel a été le phasage de construction ?*** L'objectif est de déterminer le phasage de construction. La connaissance précise du phasage de construction permet de réaliser des expertises plus rigoureuses.
- ***La géométrie :*** quelle est la géométrie réelle de l'ouvrage ? La réponse à cette question peut nécessiter des levés complémentaires préalables si les plans sont douteux ou inexistants.
- ***L'époque de construction :*** c'est une information utile car elle renvoie souvent à un type de pathologie répertorié, qu'il s'agisse du mode de conception ou de la qualité des matériaux.

I-2-1-4-L'environnement de l'ouvrage

L'environnement joue un rôle considérable dans la durabilité des ouvrages (froid, chaleur, milieu maritime,...etc.). Les différentes expositions et les différentes utilisations de la structure permettent de définir les différentes zones d'investigations et l'allotissement des contrôles. Les contraintes liées à l'accessibilité et à la configuration des lieux peuvent également déterminer la nature et le nombre des investigations.

I-2-1-5-La nature et l'ampleur des dégradations

Dans la plupart des cas, le gestionnaire d'infrastructures dispose d'un constat qui décrit les désordres apparents et leur étendue. En l'absence de ce document, les entretiens sous forme de questionnements avec le gestionnaire peuvent fournir des informations utiles. L'analyse de ces informations permet de formuler un certain nombre d'hypothèses sur les origines des dégradations, toutefois cette approche visuelle n'est pas suffisante pour formuler un diagnostic définitif. La mise en relation des désordres observés avec l'identification de la structure permet d'éliminer un certain nombre d'hypothèses. Ce premier filtrage permet de cibler les investigations sur les hypothèses encore crédibles. En outre, la connaissance de l'évolution des dégradations (corrosion, déplacements, déformations, etc....) permet d'affiner l'expertise et/ou de relier certains désordres à des événements précis. Cette connaissance permet, le cas échéant, aussi de relativiser les risques d'évolution défavorable.

I-2-2- Méthode de diagnostic [2]

Une inspection détaillée est souvent initiée pour connaître l'état général de l'ouvrage. Quand un désordre est constaté, les investigations permettent de recueillir des informations de nature à l'expliquer et dont l'interprétation constitue le diagnostic. Ce type de diagnostic peut également résulter de visites périodiques d'un parc d'ouvrages dans le cadre d'une surveillance systématique de celui-ci. Une telle inspection permet donc de déceler d'éventuels désordres au préalable et d'engager des opérations de réparation s'il le faut. En effet, il s'agit de dresser un « bilan de santé » de l'ouvrage expertisé suite à l'appariation de manifestations de pathologies sous forme de fissures ou autres dégradations.

La formulation d'un diagnostic nécessite donc la mise en place d'un programme d'investigations permettant d'accéder à des informations latentes.

I-2-2-1- Visite préalable de l'ouvrage

L'inspection visuelle de l'ouvrage est une étape préalable à l'expertise proprement dit. Elle est indispensable dans la mesure où elle permet d'établir un premier état de lieu de l'ouvrage et de son fonctionnement. Tous les désordres visibles sont recensés en précisant les conditions environnementales. Pour ce faire, une série d'actions doit être accomplie à savoir :

- examen visuel avec prise de photos,
- localisation des désordres apparents (fissures, plans de rupture, cavités, etc..),
- identification et localisation des zones fortement sollicitées,
- observation des zones critiques tels que : jonctions, appuis, etc...

I-2-2-2- Collecte de documents et d'informations

Cette seconde étape d'investigation consiste à rassembler un maximum d'informations relatives à l'ouvrage par la consultation des archives (étude, dossier d'architecture, dossier d'exécution, réalisation, exploitation). Il s'agit de suivre le processus de conception et de réalisation de l'ouvrage. Pour cela, les investigations sont orientées ou structurées comme suite :

- ***phase d'étude*** : plans de tous les corps d'état, plans architecturaux, étude génie civil, notes de calculs, l'étude du sol, etc....
- ***phase de réalisation*** : cahier de chantier, les résultats des essais sur matériaux et entretiens avec les différents intervenants dans la phase de réalisation...etc.
- ***phase d'exploitation*** : vérification des conditions d'entretien et d'exploitation après la réception de l'ouvrage (possibilité de modifications préjudiciables, de changement de destination, etc....).

I-2-2-3- Bilan de l'état de l'ouvrage

Les deux premières étapes permettent d'établir une première appréciation de l'état général de l'ouvrage.

I-2-2-4- Auscultations complémentaires sur l'ouvrage

Dans cette étape, il s'agit de décider la pertinence d'engager des investigations plus poussées et plus détaillées par le recours à des moyens et matériels sophistiqués. Cette décision est

conditionnée par deux paramètres liés aux risques encourus par le personnel et le coût des investigations à engager.

I-2-2-5- Mise en place d'un plan d'investigation

C'est un programme d'intervention qui définit les moyens à mobiliser pour le bon déroulement des investigations et les informations que l'on veut mettre en évidence.

I-2-2-5-1- Investigations In-situ et auscultations

Le programme d'auscultation doit être établi soit par les techniciens spécialisés du gestionnaire, soit par un bureau d'études extérieur spécialisé. Il comprend généralement des mesures simples caractérisant l'ouvrage dans son ensemble (mesures géométriques, sondages et essais au laboratoire) et des mesures complémentaires dans les zones critiques.

L'Auscultation (prospection, sondage ou examen) est le moyen permettant de suivre l'évolution d'un bâtiment, d'un ouvrage d'art, d'un site naturel et faire un état des lieux. Elle peut démarrer par un simple examen visuel et aboutir à une instrumentation sophistiquée utilisant des technologies multiples. Les techniques d'auscultation des ouvrages évoluent et font l'objet de développements très créatifs. Les techniques données ci-après ne sont donc pas limitatives.

a) Inspection visuelle

Les inspections visuelles permettent de vérifier l'état et le fonctionnement de l'ouvrage en service. L'observation et le relevé de l'état intérieur de l'ouvrage sont réalisés directement par un personnel spécialisé. Les dégradations sont repérées et localisées, moyennant des outils de mesure de distance. L'ensemble des désordres est reporté sur un document graphique et dans un tableau.

Les anomalies doivent être qualifiées en terme de nature du défaut et quantifiées en terme de forme et d'orientation. Les résultats des visites sont exploités en analysant les dégradations relevées sur l'ouvrage et la recherche sur site des éventuelles corrélations avec l'environnement proche de celui-ci. L'exploitation des visites antérieures permet de juger l'évolution des dégradations et l'importance du paramètre temps comme facteur aggravant.

C'est une inspection détaillée de l'ouvrage où l'expert doit procéder à un certain nombre d'examen portant sur :

- Relevés géométriques généraux et locaux,
- Sections et portées des éléments, hors plomb, défaut d'alignement...etc.,
- Recensement et localisation des désordres,
- Évaluation des caractéristiques mécaniques (Résistance, module d'élasticité),
- Evaluation des corrosions, compositions chimiques,
- Monitoring (suivi de l'ouvrage au cours du temps)...etc.

b) Auscultation géométrique

Il s'agit d'enregistrer les déformations éventuelles affectant la géométrie du réseau d'assainissement suite au comportement mécanique du sol environnant. Ces auscultations permettent de comparer la mesure du profil en long et du tracé en plan par rapport à une référence (issues du projet ou des auscultations effectuées précédemment) et cela permet donc, l'évaluation dimensionnelle des désordres.

Les principales techniques utilisées sont [11] :

- la profilométrie optique et laser, qui permet l'enregistrement des profils en temps réel ;
- la topographie, qui permet d'effectuer des mesures et représenter sur un plan ou une carte les détails visibles sur le terrain ;
- la mesure de convergence, qui consiste à effectuer des mesures de distance entre différents points de mesures ;
- la fissurométrie, qui permet le suivi et mesures de l'évolution de la fissuration ;
- l'inclinométrie, qui permet de contrôler la stabilité des sols et des ouvrages.

c) Auscultation Géophysique

Le radar est un appareil d'auscultation actuellement utilisé. Il peut apporter des informations essentielles pour connaître les paramètres de l'état physique des ouvrages et de leur environnement proche. Il repose sur le principe de la réflectométrie d'impulsion, et permet de caractériser la structure de l'ouvrage, la nature du sol encaissant, ainsi que la détection de :

- Sols décomprimés et zones d'entraînement de fines ;
- Cavités et poches d'eau ;
- L'évaluation des épaisseurs des différents matériaux (sol en place, remblais, structure...) ;
- Points durs, zones humides, fissurations ;
- Présence de réseaux et masses métalliques...

d) Auscultation radar.

D'autres méthodes sont utilisées, il s'agit des méthodes électriques, qui consistent à la mesure de la résistivité des sols encaissant les ouvrages d'assainissement. Des informations sont obtenues à partir d'un dispositif de mesure multi-électrodes en courant continu ou alternatif et l'enregistrement des différences de potentiels.

Ces mesures permettent de :

- Détecter la présence de cavités de grandes dimensions ;
- Détecter les différentes anomalies que peuvent présenter les terrains encaissants ;
- Détecter les désordres affectant l'ouvrage (fissures, vides...).

Sauf que la présence de masses métalliques et lignes électriques influençant le signal, rendent l'utilisation des méthodes électriques limitée en milieu urbain. Dans le même genre, il existe l'utilisation de caméra infrarouge.

d) Sondages carottés

Les sondages carottés sont des reconnaissances destructives. Cela consiste à percer le revêtement à l'aide d'un matériel spécialement adapté aux ouvrages souterrains. Ces sondages sont fortement recommandés pour l'étalonnage des reconnaissances non destructives, notamment le radar. Les sondages carottés permettent d'examiner visuellement des échantillons de matériaux constitutifs des ouvrages, ainsi que l'utilisation de ces échantillons en vue d'essais au laboratoire (déterminations chimiques ou minéralogiques, essai de résistance...). Ces essais permettent alors de classer l'état structurel de la structure.

e) Investigations supplémentaires

Le diagnostic peut déboucher sur des investigations plus précises. Ainsi, une étude géotechnique circonscrite appuyée par des essais in-situ et de laboratoires s'avère indispensables pour déterminer la nature et le type de sol d'assise des fondations. Cette analyse des interactions sol/structure au niveau de la fondation et des problèmes hydrauliques éventuellement est primordiale pour comprendre le fonctionnement des ouvrages. Il est nécessaire de connaître le mode de fondation et les caractéristiques géotechniques et hydrauliques du sol.

I-2-2-6- Analyse

L'analyse porte sur des paramètres en rapport avec les notions de la mécanique des sols et de la structures, tel que :

- calcul avec propriétés mécaniques réelles avec liaisons internes et externes réelles avec actions réelles,
- capacité structurale,
- comparaison des états de contrainte trouvés avec les pathologies observées,
- respect des règles de l'art et des normes en matière de construction,
- évaluation de l'efficacité de diverses solutions, en tenant compte de la sécurité, des coûts, des délais et de l'environnement.

I-2-2-7- Conclusion et recommandations

À l'issue du diagnostic, quatre solutions peuvent être envisagées selon les situations :

- Laisser l'ouvrage tel qu'il est et ne rien faire si les désordres constatés ne constituent pas un danger sur la stabilité de la structure,
- Procéder à des travaux de réparation,
- Renforcement ou confortement de ce qui nécessite des travaux en sous-œuvre souvent coûteux et compliqués,
- Démolir pour reconstruire.

La question qu'il faut poser avant toute opération de réparation est la suivante : faut-il effectuer une reprise en sous-œuvre ou non ? Dans le cas affirmatif, quel type de réparation de reprise en sous-œuvre et comment éviter que de nouveaux désordres se produisent ? Il est évident que la solution de réparation quelque soit son envergure devrait impliquer un coût de financement qu'il faut intégrer dans la démarche du diagnostic. Le sujet n'est pas simple s'il s'agit d'un type de sol très sensible à l'eau d'autant plus si des erreurs ont été commises dans le passé en matière de conception et de mise en œuvre en raison d'une méconnaissance géotechnique du sol.

En pratique, la solution optimale n'est pas souvent simple à trouver quand il s'agit des sols problématiques (argile, marne, calcaire...etc.). Il faut toujours trouver un compromis raisonnable et accepter avec humilité que la solution préconisée pourrait se révéler insuffisante et qu'elle devrait, s'il y a lieu, être complétée.

I-2-2-8- Rapport d'expertise

La rédaction d'un rapport de diagnostic doit faire ressortir :

- l'origine des désordres, leur étendue, et éventuellement leur évolution,
- Mettre en avant les zones à traiter en priorité, si l'ouvrage garantit toujours la sécurité des personnes et des biens qu'il abrite,
- des recommandations relatives aux éventuelles méthodes de réparation et/ou de renforcement les mieux adaptées.
- des conseils sur l'exploitation de l'ouvrage, maintien, renforcement ou suivi, conseil sur des éventuels compléments d'étude.

Le but du diagnostic consiste tout d'abord d'évaluer le niveau atteint des pathologies et identifier les causes ensuite pour donner des solutions de réparation à l'effet de d'arrêter l'évolution des désordres dans les conditions optimales. Toutefois une expertise s'attache aussi à développer les manquements de l'étude et de la mise en œuvre qui ont conduit à la pathologie identifiée. Le diagnostic résultant des résultats des essais doivent être interprétés par des experts. La solution de réhabilitation dépend directement des pathologies relevées et des caractéristiques mécaniques de l'existant. Il faut hiérarchiser les problèmes tout en étant conscient du contexte local caractérisé par la nature du sol, le type de fondation, l'environnement immédiat de l'ouvrage (présence d'arbres, manque d'aménagement extérieur) et la vérification du dimensionnement des éléments de la structure.

Conclusion

La plupart des désordres sont dues 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. Concernant les matériaux soumis à différents types de sollicitations. Il faut distinguer les fissures superficielles ou faïençage et les fissures actives (évolutives). Les fissures de décollement entre différentes natures de matériaux (par exemple entre une ossature béton armé et les remplissages en maçonnerie d'éléments). Les fissures de rupture qui peuvent être traversantes (ou partielles) et qui correspondent à une sollicitation excessive (contrainte de traction ou de cisaillement supérieure aux "possibilités" du matériau).

Les pathologies peuvent être apparentes ou cachées ; afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, un diagnostic est nécessaire pour la prise des décisions en matière de

maintenance et de réhabilitation. Pour en déterminer les causes, le diagnostic doit suivre un ordre logique qui consiste tout d'abord de recueillir des données de base relatives au site d'assise de l'ouvrage (Géologie, hydrogéologie, climatologie) et faire une expertise technique (Analyse, diagnostic, recherche des causes). Ensuite, faire des réflexions sur des propositions des solutions basées sur des études de détail de mise en œuvre.

Mais, le diagnostic des ouvrages affectés par des désordres est un travail fortement artistique appelé également l'art de l'ingénieur, où l'inspiration joue un rôle certain. C'est aussi un processus périodique et itératif en intégrant continuellement des informations diverses où l'expert ou l'ingénieur chargé du diagnostic doit disposer d'outils de grandes variétés permettant de bien comprendre les différents cas pathologique et leur évolution pour proposer chaque fois nécessaire des solutions adéquates. Enfin, le diagnostic reste aussi un travail d'équipe réunissant des intervenants de divers horizons scientifiques, c'est-à-dire un travail pluridisciplinaire et de collaboration entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre.

Chapitre II : Etude de cas pathologique

Introduction

La construction du siège de la CACOBATPH (figure 6) remonte au début des années soixante dix (1972), il a été inauguré en 1974. Les premières manifestations de dégradations ont apparues au cours de l'année 2010 pour connaître une évolution inquiétante au point où des travaux de réfection et de colmatage ont été réalisés au cours de l'année 2013 mais sans résultats. Une recrudescence de fissurations et autres dégradations se sont apparues par la suite. Aucune expertise n'a été faite au préalable, évidemment les réparations et rebouchage n'ont pas supprimé les causes réelles des dégradations. La première visite du bâtiment a fait constater des pathologies diverses (fissures, affaissements, tassements) à tous les niveaux ce qui témoigne du caractère évolutif des fissures et constater que les fissures sont toujours actives. Le but de cette partie est de dresser un état des lieux des dégradations recensées pour en déterminer les causes réelles et proposer enfin des solutions et recommandations pour y remédier.

La présente étude n'a pas la prétention de déceler les vices cachés de la construction et autres anomalies indécélables. Les moyens d'investigation limités n'ont pas pour autant permis un examen détaillé. L'absence du dossier d'exécution et de suivi du projet (essais sur la qualité des matériaux) n'a pas permis de juger de la qualité des bétons. L'examen de l'état de la structure en béton armé est basé sur examen visuel des parties visibles et accessibles de l'ouvrage. Aucun essai sclérométrique n'a été effectué pour tester la qualité du béton des éléments structuraux de l'ouvrage. Mais de visu, aucune altération n'a été détectée sur les bétons.

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. Pour faciliter et renforcer la compréhension des désordres abordés, des photos, schémas, détails de construction et tableaux de synthèse ont été mobilisés.

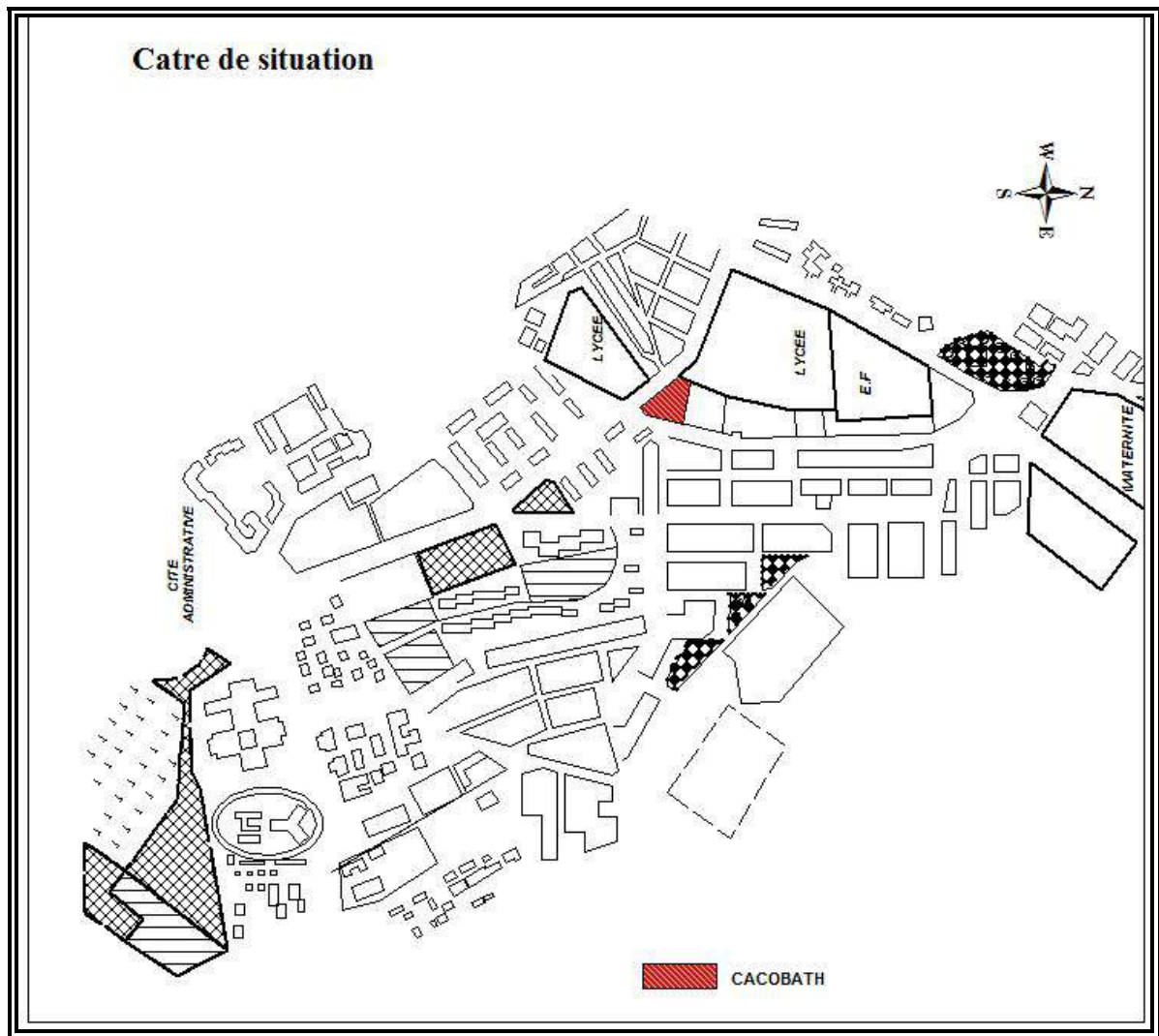


Figure 6 : Plan de situation du siège de CACOBATH.

II-1- Description structurelle de l'ouvrage

L'ouvrage présente une composition de deux volumes de forme rectangulaire (figure n° 7) :

- Bloc "A" administratif d'une surface de 337,65 m² (34,95 X 11,95 m) ;
- Bloc "B" logement de fonction de type individuel en RDC avec patio occupant une superficie totale de 87 m² (15,45 X 12,50 m).

L'ouvrage principal "A" comprend :

- un sous-sol (garage),
- un rez-de-chaussée (RDC),
- un étage,
- deux terrasses inaccessibles.

Le bâtiment "A" de vocation administratif est composé d'un seul bloc en R+1 avec sous-sol occupant la moitié de l'ensemble de la structure et faisant office de garage. Le bâtiment a une forme rectangulaire sans décrochement en plan et en élévation. Les murs extérieurs sont en maçonnerie et en doubles parois. Les parois extérieures du sous-sol est en parpaing et les parois extérieurs en brique creuse.

La structure est en portique auto-stable à usage administratif. L'accès à l'étage et au sous-sol s'effectue par l'intermédiaire des escaliers en béton armé et les portes. Les fenêtres sont agencées sur les façades pour l'éclairage et l'aération des bureaux. Au niveau du sous-sol, des petites fenêtres pour la ventilation et l'aération. Le revêtement de sol est en carreaux de dalle de sol et de granito jointoyés par un mortier colle.

Les longueurs des trames dans le sens transversal et longitudinal sont régulières. Les longueurs des travées entre poteaux en béton armé sont très importantes en raison de l'importance de la section des éléments structuraux en béton armé. Un garde corps (acrotère) en maçonnerie de 1.00 m de hauteur ceigne le périmètre de la terrasse.

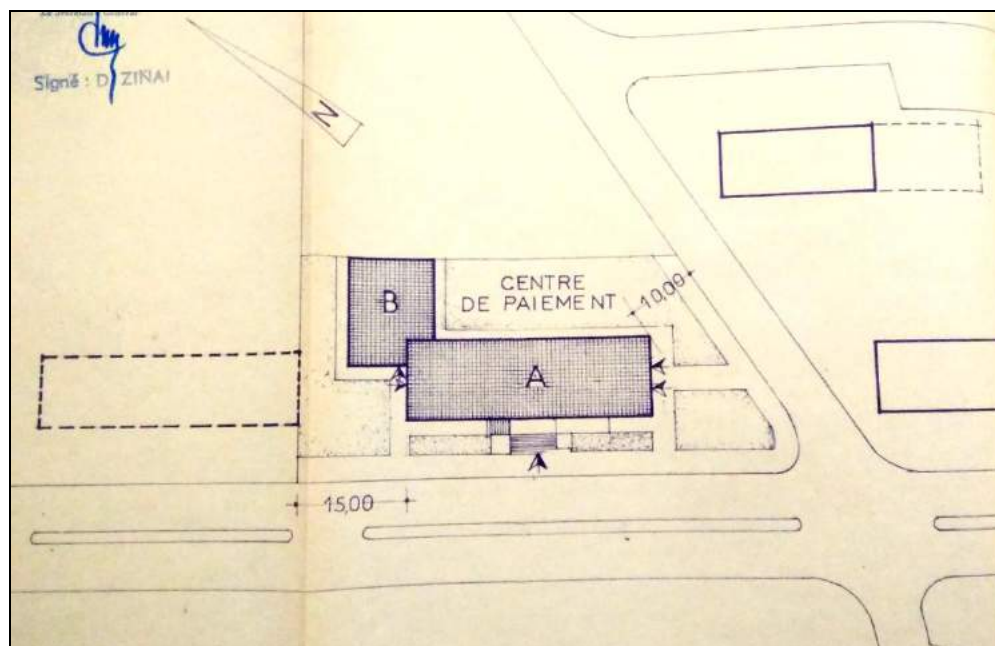


Figure 7 : Plan de masse, source : permis de construire, 1972, archive wilaya de Saïda.

II-1-1- Infrastructure

En absence de dossier d'exécution, la consultation des plans d'architecture et la visite effectuée dans le sous-sol a permis de relever un système de fondations superficielles avec des semelles isolées sous poteaux reliées par un système de longrines (plans en annexe).

II-1-2- Superstructure

La structure porteuse du bloc est constituée de portiques auto-stables (poteaux et poutres) en béton armé. Le plancher est 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 poutres présentent une retombée importante compte tenu de la longueur de travée qui est de l'ordre de 7.00 m environs. L'ouvrage est surmonté d'une toiture-terrasse accessible protégée par un revêtement d'étanchéité.

II-1-3- Fonctionnement

L'ouvrage est un bâtiment administratif dont le rez-de-chaussée est composé d'un hall de réception et des bureaux du personnel : secrétariat, bureau du directeur, sanitaire, un accès principal et une issue de secoure. Le premier étage est composé de bureaux et de sanitaire. Le sous-sol n'est pas étendu sur l'ensemble de la structure, il fait office de garage.

II-2- Nature et ampleur des désordres relevés

L'étude des pathologies commence par une visite accompagnée d'un relevé détaillé des différentes dégradations superficielles présent sur l'ouvrage. La documentation photographique commentée est un outil intéressant qui recense et résume les désordres relevés sur le bâtiment.

Les réparations effectuées sur le bâtiment (rebouchage des fissures, peinture, carrelage...etc.) ont montré que les fissures sont toujours actives. Aussi, le rebouchage des fissures par un enduit de calfeutrement est un témoin visible qui a permis un suivi efficace de l'évolution de la fissure dans le temps au même titre que la pose des témoins de surveillance (méthode de plaque de plâtre, méthode de vis, témoin à coulisse...etc.). L'appariation de nouvelles fissures conduit à mieux appréhender la pathologie et d'en déceler la cause pour une solution définitive. L'examen visuel

des parties accessibles du bâtiment a permis de relever des désordres multiples d'importance diverse :

- Affaissement du dallage à l'extérieur du bâtiment suite au tassement important de sol en plusieurs endroits,
- Ouverture de joint de rupture au niveau de la terrasse.
- Ouverture du joint de dilatation entre le logement de fonction et le bâtiment ainsi qu'au niveau du mur de clôture.
- Cisaillement de la maçonnerie au niveau du logement de fonction,
- Fissures éparses au niveau de la façade extérieure du bâtiment principale et du logement,
- Fissures inclinées et horizontales sur les cloisons de séparation et aux endroits des ouvertures (portes et fenêtres) du bâtiment administratif,
- Eclatements des enduits au niveau des murs et du plafond,
- Dislocation entre les panneaux des cloisons et les portiques de l'ossature (poteaux, poutres, linteaux),
- Effritement du béton d'une longrine au niveau du sous-sol,
- Traces d'humidité sur les murs du sous-sol,
- Etanchéité dégradée de la terrasse,
- Gargouilles et décentes obstruées et mal entretenues,
- Espace extérieur arboré et envahis par les herbes sauvages.

II-2-1- Les désordres dans la maçonnerie

Les murs extérieurs et intérieurs sont construits en maçonnerie (briques et parpaings). Les dégradations relevées sont des fissures diverses d'importance inégale. Les fissures ressemblent à une fente visible affectant partiellement ou totalement la surface d'une maçonnerie selon l'endroit. Les mêmes dégradations sont relevées au niveau du logement de fonction attenant au bâtiment.

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. La description des désordres observés nécessite la mobilisation d'un vocabulaire technique précis et normalisé pour éviter toute confusion. Pour cela, la définition des termes utilisés est nécessaire [16] :

- **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.
- **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.

II-2-1-1- Au niveau du sous-sol



Figure 8 : fissures en forme oblique occupant une bonne partie des murs intérieurs, sous-sol.



Figure 9 : fissures diagonales accompagnées d'éclatement de l'enduit.



Figure 10 : fissures (horizontale, verticale) au droit de l'interface maçonnerie en briques et éléments structuraux en béton armé accompagnés de détachement des enduits.



Figure 11 : traces d'humidité et effritement du béton au niveau d'une longrine (S/Sol)

II-2-1-2- Façades

Les fissures dites de planchers liées à un défaut de portance des fondations pourront aussi avoir une allure horizontale lorsque l'angle de la structure s'enfonce. Dans ce cas la fissure apparaît au niveau du soubassement, sous l'arase du dallage (figure 10). C'est la conséquence de Sollicitation de moment fléchissant.



Figure 12 : fissures horizontales à la base des planchers bas et supérieurs.



Figure 13 : double fissure (inclinée et droite) colmatées dans les angles des fenêtres (refend), c'est fissure active suite à un tassement.



Figure 14 : la réparation n'a pas résisté, la fissure est vivante mais d'apparence sans gravité.



Figure 15 : éclatement de l'enduit au niveau du linteau de la fenêtre.

II-2-1-3- Fissures au niveau des murs intérieurs



Figure 16 : Les fissures obliques intéressent toute l'épaisseur de la paroi entre le mur et son support soit à la jonction, soit dans un des joints horizontaux de la maçonnerie.



Figure 17 : Les fissures suivent la jonction des murs avec les éléments structuraux (poutres, poteaux), elles sont parfois accompagnées d'un décollement entre le mur et son support.



Figure 18 : fissures obliques au droit des angles des ouvertures et décollement des enduits.



Figure 19 : Les fissures inclinées à 45° sont observables à l'intérieur en plusieurs endroits de la maçonnerie suivant les joints des blocs de maçonnerie.



Figure 20 : Les fissures verticales sont visibles notamment au niveau de l'interface maçonnerie en briques et éléments structuraux en béton armé.

II-2-2- Affaissement des dallages en béton

L'affaissement est observé à l'intérieur du bâtiment (hall) où le revêtement en dalle de sol a craqué. Il est aussi observé à l'extérieur du bâtiment au niveau des dallages en béton. Le dallage étant un ouvrage léger, les règles de réalisation de dallage sur terre ne sont pas respectées (hérisonnage en pierres sèches, compactage...etc.) Il est posé à même le remblai insuffisamment décapé et mal compacté. Après une période donnée, les affaissements apparaissent pour connaître un stade de dégradation aggravé de surcroît par le manque d'entretien. L'action thermique peut être aussi à l'origine des affaissements.

Ces dégradations sont imputables au tassement du sol notamment le remblai. L'infiltration des eaux fortuites des pluies et l'humidification du sol favorisent le mouvement des sols sensibles à l'eau. La dégradation du réseau de drainage et du dallage périphérique a amplifié l'infiltration des eaux accidentelles.



Figure 21 : gonflement et dégradation des carreaux de revêtement du plancher.



Figure 22 : affaissement du dallage en béton et du drain des eaux pluviales



Figure 23 : obstruction du drain d'évacuation des eaux pluviales



Figure 24: tassement sous dallage et basculement des escaliers

II-2-3- Risque de basculement du mur de clôture

Le mur de clôture, notamment son côté Est, est le plus exposée aux eaux de ruissellement. Il présente un risque de basculement en plusieurs endroits. Les eaux de ruissellement en se rabattant sur ce mur, elles s'infiltrent à travers la paroi de clôture et atteignent le sol d'assise argileux en modifiant ses caractéristiques physique et mécanique. À l'origine, cette clôture est un soubassement barreaudé qui a été renforcé par un rehaussement de deux mètres. Le poids du mur rehaussé rapporté sur au sous-bassement d'origine exerce une surcharge supplémentaire aggravant l'instabilité du sol d'assise et déclenchant un tassement de la couche du remblai d'autant plus que le mur de clôture est construit sans chaînage en tête encore moins sans joint à mi-longueur. Or aucun mur de clôture réalisé sur un remblai ne résiste à des altérations aggravées par l'eau.



Figure 25 : éclatement de la maçonnerie et effritement du béton de la longrine



Figure 26 : fissures franche en plusieurs endroits de la clôture et risque de balancement, dégradation apparente des poteaux support de la porte métallique.



Figure 27 : fissures en gradin visibles sur toute la clôture.

Conclusion

L'ensemble des désordres, ont commencé à apparaître dès la fin de l'année 2015. Ils se résument à des fissurations de type horizontal, vertical et inclinées (45°) dans les éléments de maçonnerie. Ils sont observés au niveau du rez-de-chaussée et plus précisément dans le sous-sol. Les éléments structuraux en béton de l'ouvrage sont quasi-intacts et n'ont subis aucune altération.

La recrudescence des désordres après les travaux de réparation effectués en 2013 montre le caractère actif et évolutif à la fois des fissures et l'apparition de nouvelles dégradations. Ce constat atteste la relation des désordres observés avec la nature du sol d'assise en l'occurrence les affaissements des dallages, du solin périphérique, des conduites de ruissellement et la défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales. Enfin et afin d'établir cette relation interaction sol d'assise et fondations, les investigations sont orientées vers l'identification du sol d'assise des fondations. L'exploitation des résultats du rapport géotechnique apportera des éléments de réponse pertinente de nature à identifier les causes probables et leur interprétation.

Chapitre III : Campagne géotechnique

Introduction

En dépit des travaux de réparations réalisés, les désordres observés ne se stabilisent pas. Les essais sclérométriques³ effectués par le CTC à titre indicatif sur les éléments structuraux ont donné un béton de caractéristique mécanique satisfaisante. Au vu de cette situation, il a été demandé au maître de l'ouvrage de se rapprocher d'un organisme spécialisé afin d'engager une étude de reconnaissance de sol à même éclaircir et déceler les vraies causes des dégradations observées. Les investigations orientées vers une campagne géotechnique de sol peut fournir des informations utiles sur cette partie cachée de l'ouvrage à savoir le sol d'ancrage des fondations (nature, niveau d'assise, géométrie...etc.). Cette connaissance est primordiale en raison de l'implication fréquente des fondations dans les désordres et sinistres des ouvrages. Il convient donc de procéder à une analyse des indices relatifs au type de sol et aux fondations avant de conclure sur une hypothèse expliquant l'origine des désordres constatés. Au de-là de toute idée préconçue, les investigations viendront confirmer ou infirmer l'hypothèse fondée et par conséquent proposer des remèdes appropriés. La campagne de reconnaissance du sol permet d'établir le lien entre la cause d'un sinistre et le comportement du sol [3]. Autrement dit, il s'agit de mettre en évidence les conséquences d'un tassement du sol d'assise des fondations et d'en comprendre les causes possibles.

Le programme d'investigation de reconnaissance géologique et géotechnique du sol porte sur :

- Deux (2) sondages carottés de 10 m de dix mètres réalisés à l'aide d'une sondeuse de type "ABYS", ainsi que deux prélèvements d'échantillons du sol pour les essais au laboratoire et élaborer deux profils géologiques des sols rencontrés.
- Quatre (4) essais de pénétration dynamique, réalisés au pénétromètre dynamique lourd de marque "TEC-SYSTEM" pour mesurer la résistance du sol en fonction de la profondeur.

³ Le scléromètre est un appareil relativement simple d'utilisation, il est destiné à mesurer, indirectement, la résistance à la compression du béton à partir de la mesure de sa dureté superficielle. Il permet l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage.

III-1- Contexte topographique

Le profil topographique du terrain est utile car il détermine le sens d'écoulement des affluents. Il a une influence sur l'emplacement des bâtiments et leurs expositions vis-à-vis des écoulements surfaciques des eaux pluviales par exemple. Le terrain en pente présent (figure 28) une différence d'altitude (le niveau le plus bas et le niveau le plus haut) de 16 mètres environs.

III-2- Aperçus lithologique

Les coupes géologiques réalisées à partir des sondages donnent une description lithologique du sol. Ce dernier est formé d'une couche de calcaire marneux avec des passages gréseux couvert par une couche de remblai de couleur brunâtre d'épaisseur de 1,50 à 2m/TN. La couche de calcaire-marneux est un "bon sol" pour l'ancrage des fondations. Cette couche est présente sur toute la zone et ne s'altère pas en profondeur si non les passages gréseux. Les graphiques des descriptions lithographiques sont en annexe.

Tableau n° 05 : description lithologique du sol

Sondage	Profondeur (m)	Nature Lithologique
SC01	00 – 01,50	Terre végétale et remblais
	1,50 – 10,00	Calcaire marneux avec passages gréseux
	10 m	Fin de sondage
SC02	00 – 02,00	Terre végétale et remblais
	02,00 – 10,00	Calcaire marneux avec passages gréseux
	10 m	Fin de sondage

La marne est une roche sédimentaire, mélange de calcite (CaCO_3) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 %. Au-delà de 65 % de calcaire, il s'agit d'un calcaire argileux, tandis qu'en deçà de 35 % de calcaire, on parle d'argile calcaire et parfois « argile calcareuse » ou « argile calcarifère ») [6]. Les formations ou « séries » marno-calcaires sont des formations géologiques sédimentaires très courantes. Elles désignent des alternances régulières de deux roches : des marnes et des calcaires, montrant un caractère de sédimentation cyclique. Les alternances marne-calcaire sont très fréquentes dans les séries sédimentaires et portent le nom de formation marno-calcaire. Elle est sensible à l'eau et favorise les instabilités de pente. Le fluage des marnes ou des formations marno-calcaires, le glissement de terrain et le ravinement sont à l'origine de catastrophes régulières.

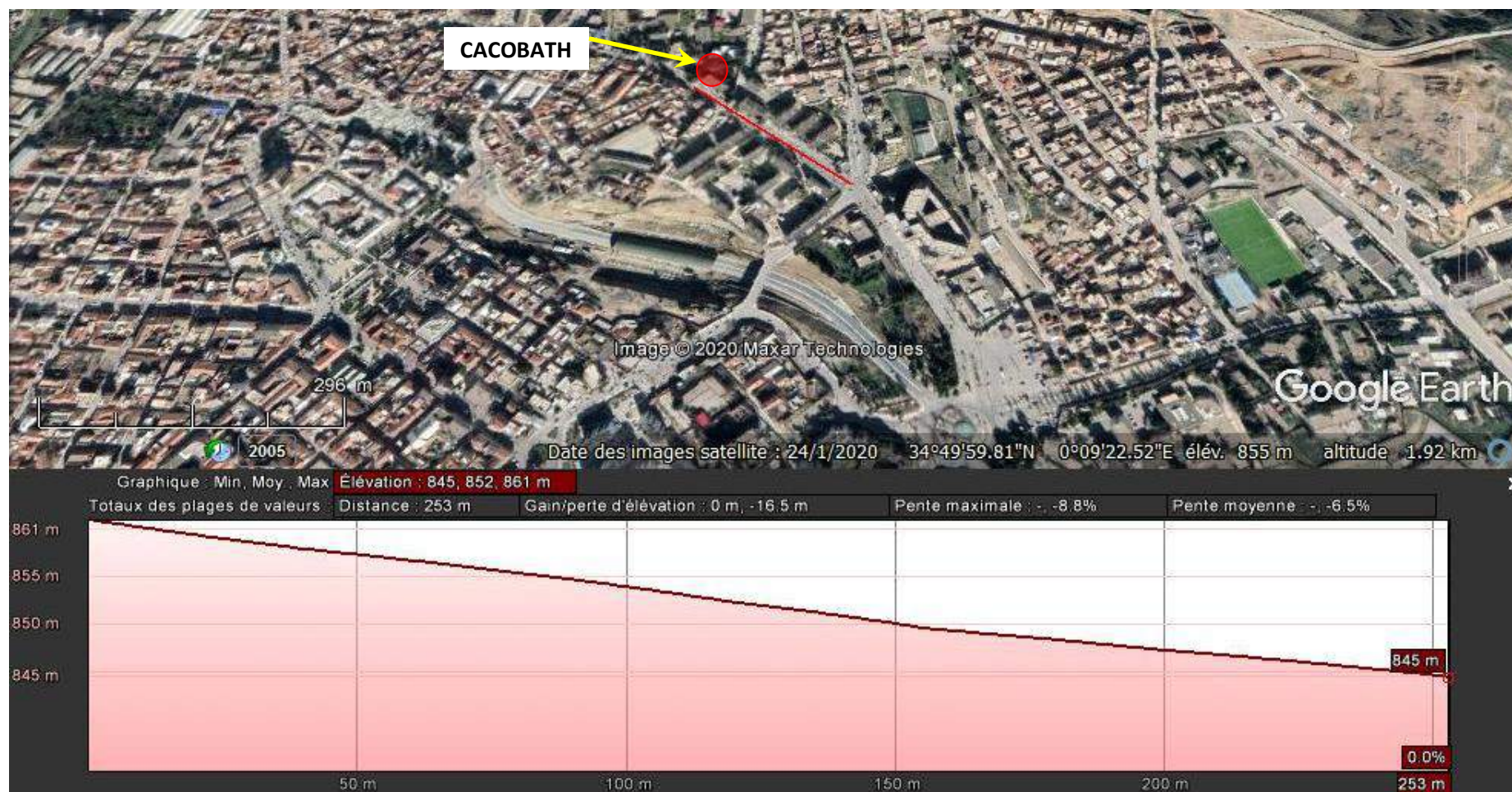


Figure 28 : Profil topographique du site.

III-3- Contexte climatique

Tableau n° 01 : Cumuls mensuels des précipitations (mm), 2000-2010.

Année	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
2000	0	0	5.8	12.4	23.7	3	2.6	2.1	24.6	58.7	62.2	20.2	212.6
2001	62.9	53.0	5.9	25.9	11.1	1	3	5.9	29.1	22.8	58.5	19.1	274.0
2002	8	8.8	28.1	49.0	58.6	14.5	3	23.8	2	16.8	59.8	13.3	274.0
2003	101.6	58.6	15.9	26.5	21.7	8.3	6.0	9.9	9.9	97.2	31.1	48.5	435.2
2004	29.1	32.5	6.2	37.5	101.4	12.8	10.4	17.7	38.9	40.7	54.0	87.8	469.0
2005	7.0	28.3	28.2	7.5	0	2.6	10.7	00	24.0	38.1	85.9	18.6	250.9
2006	77.9	34.8	11.9	54.7	44.9	8.1	3	00	9.5	11.0	21.0	65.7	339.8
2007	20.0	38.4	66.4	33.5	19.1	0	17.8	2.8	20.7	174.9	16.8	18.2	428.6
2008	19.5	9.4	17.6	10.6	62.3	11.0	17.6	8	31.9	133.2	57.1	91.2	462.2
2009	112.4	20.4	78.0	79.5	36.7	2.1	2.4	1.6	99.2	3.0	26.3	30.1	491.7
2010	61.3	88.0	34.1	57.1	42.5	4.8	6	29.4	5.5	36.1	30.5	20.9	410.8
2011	22.6	26.4	38.4	73.5	60.1	41.1	1.1	12.3	2.4	52.9	48.8	36.4	416.0
2012	15.0	52.9	55.0	83.2	35.5	4.2	1.8	2.1	7.5	44.1	201.6	14.8	517.7
2013	93.3	41.5	62.1	116.1	34.7	7.4	17.6	7.0	35.6	9.3	65.3	60.2	550.1
2014	43.8	38.6	39.3	5.6	10.6	33.0	3	2.1	60.6	54.2	52.0	46.5	386.6
Moyen	44.5	35.4	32.9	44.8	37.5	10.0	6.0	7.8	26.6	52.9	58.1	39.4	396.0

Source : Station météo de Saïda, 2019.

Tableau n° 02 : Moyenne mensuelle des températures en °C, (1990-2010).

An	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Mov
Mini.	3.1	3.5	5.5	6.5	10.5	14.9	18.5	18.8	15.2	11.7	7.0	4.4	10
Maxi.	13.7	15.5	18.7	20.9	26.0	32.0	36.0	35.7	30.1	24.6	18.1	16.6	23.9
Ecart	10.6	12	13.2	14.4	15.5	17.1	17.5	16.9	14.9	12.9	11.1	12.2	13.9

Par rapport au climat du pays caractérisé par un climat méditerranéen au littoral et désertique au sud, le climat à Saïda, située à la limite du tell des plaines sud-oranaises, est caractérisé par un climat froid en hiver et chaud en été. Elle fait partie d'un domaine climatique intermédiaire qui correspondant à un climat semi- aride marqué par une sécheresse élevée en été et un hiver pluvieux et froid. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Juillet et Août ; elles atteignent des maximales moyennes de 36 °C engendrant une forte évaporation. Les températures atteignent leurs valeurs minimales au mois de février avec une moyenne minimale de 2,5 °C. Le graphique 29, représente les variations mensuelles de Température sur 30 ans de la région de Saïda. [11].

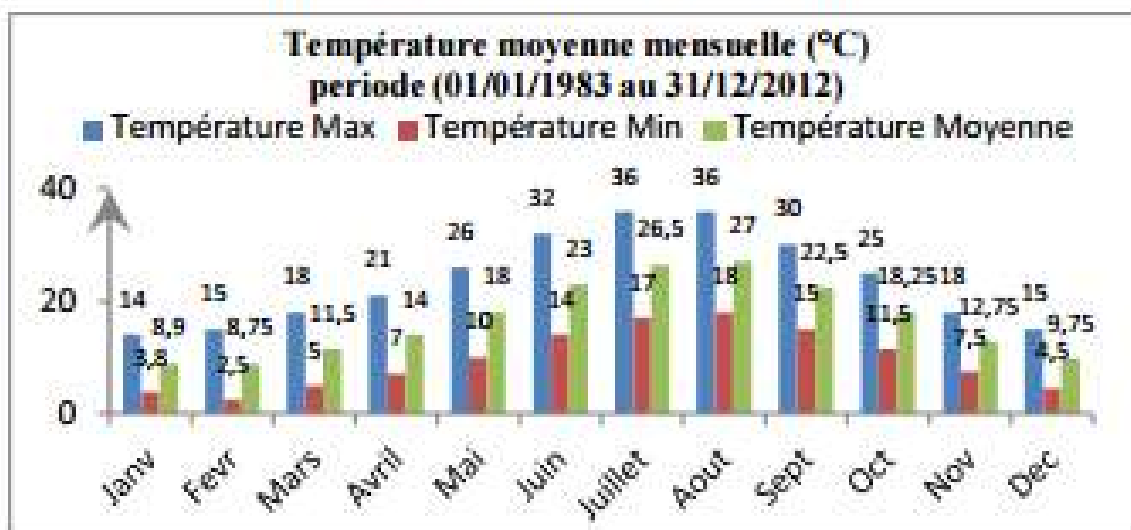


Figure 29 : Températures moyennes de la région de Saïda

La région de Saïda reçoit en moyenne une pluviométrie annuelle de l'ordre de 348 mm [11]. D'un point de vue bioclimatique, la partie Nord de la wilaya appartient au domaine semi-aride frais et la partie Sud au domaine aride froid [17]. Le tableau suivant montre la pluviométrie mensuelle de l'année 2014 mesurée en mm.

Tableau n° 03: Pluviométrie mensuelle moyenne [9]

Année	Jan.	Fév.	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, in [2]) est déterminé comme suit :

$$I = \frac{P}{(T+10)} \quad (1)$$

Avec : P : précipitations annuelles en millimètres.
T : température moyenne annuelle en °C.

En matière de précipitation annuelle (P) de 421 mm et une température moyenne annuelle (T) de 16,7 °C. L'indice d'aridité⁴ de la région de Saïda est de 15,76, ce qui correspond à un climat semi-aride sec avec un écoulement temporaire et une tendance à la sécheresse [1].

Le système Martonne⁵ a proposé une classification des climats en fonction de l'indice d'aridité [8]. Cette classification du climat est donnée dans le tableau ci-dessous qui indique un indice de 20 représentant la limite de la sécheresse.

⁴ L'indice d'aridité est une valeur numérique censée représenter le degré de sécheresse du climat à un endroit donné, plusieurs méthodes de calcul ont été proposées. Ces indices ont pour la première fois été calculés au début du xx^e siècle par Wladimir Köppen et Rudolf Geiger, plus tard d'autres scientifiques comme Charles Warren Thornthwaite puis Mikhaïl Ivanovitch Budyko ont proposé les leurs. Les gradients de ces indices peuvent également servir à délimiter des zones en fonction de leur pluviométrie. Ces indices peuvent également être utilisés, parmi d'autres, comme facteur pouvant permettre une classification du climat.

Tableau n° 04 : Classification des climats selon l'indice d'aridité [7]

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

III-4- Hydrogéologie

Les investigations du sol ont mis en évidence l'absence de circulation d'eau dans la profondeur des sondages de reconnaissance. Aucune humidité n'a été décelée sur les tiges du pénétromètre. Toutefois, l'absence d'eau lors du sondage ne signifie pas que des venues d'eau ne se produiront jamais. Les sondages ont été réalisés en pleine période sèche, entre le 13 et 15 aout 2018.

III-5- Etude géotechnique et reconnaissances du sol

L'étude géotechnique se rapporte aux sols et aux eaux sous terraines en tant qu'éléments intervenant dans la stabilité et le bon comportement des constructions. Elle consiste à fournir aux acteurs de la construction les données relatives au comportement du sol pour la conception et la construction des ouvrages et leur incidence sur l'environnement.

III-5-1- Les essais in situ

Les essais in situ ou en place sont des essais permettant la détermination des caractéristiques d'un sol. Ils sont rapides et peuvent être multipliés pour permettre une meilleure reconnaissance du sol. Ils donnent des résultats globaux comparativement aux essais de laboratoires dont les résultats sont discontinus.

III-5-1-1- Essai de pénétration dynamique

L'essai de pénétration dynamique donne une indication qualitative de la résistance du sol, il consiste à faire pénétrer dans le sol, par battage un train de tiges muni d'une pointe conique à l'aide d'un marteau tombant en chute libre appelé « mouton », pour une énergie de battage constante, on

⁵ Le système de Martonne : dans la première moitié du XX^e siècle, le géographe français **Emmanuel de Martonne** élabore un système de classification des climats par une méthode statistique. Il utilise un indice synthétique regroupant des données hydrométriques et thermiques. Cette méthode statistique sera reprise par la suite pour la classification climatique et perfectionnée grâce au développement des moyens techniques de mesure et d'information sur le climat.

compte le nombre de coups de mouton (N) nécessaires pour obtenir un enfoncement de 20 centimètres. Cet essai permet de déterminer la résistance du sol à la pénétration. La formule donnée ci-dessous permet de convertir le nombre de coups obtenu en résistance dynamique à la pénétration de la pointe. La résistance en pointe est définie par le nombre de coups de battage nécessaires pour un enfoncement de 20 cm de la pointe. L'énergie de battage est le produit du poids de la moutonne fois la hauteur de chute.

$$Rd = \frac{M \times g \times H}{Sp \times \frac{h}{Nd}} \times \frac{M}{M + M'}$$

M' : masse total des tiges, du guide et de l'enclume.

M : masse du mouton.

H : hauteur de la chute du mouton.

Sp : aire de la section droite du cône.

G : accélération de la gravité terrestre.

Nd : nombre du coup pour un enfoncement h de la pointe.

Tableau n° 06: Caractéristique du pénétromètre MEDITOL

Type	Masse tige (kg)	Masse guide et enclume (kg)	Hauteur de chute (m)	Aire de la section droite (cm ²)	Gravité terrestre (m/s ²)	Enfoncement (cm)	Masse du mouton (kg)	Poids suppl. (kg)
B(DPH)	6.00	18	0.50	15.00	9.81	20	63.50	25

Quatre essais de pénétration dynamique ont été implantés pour une couverture optimale du site. Les allures des courbes pénétrométriques sont en forme de dents de scie caractérisant des sols fins. La résistance dynamique est en général moyenne à forte. Elle oscille avec la profondeur entre un minimum de 70 bars à un maximum allant à des pics de 290 bars. Le refus profond est moyennant de 3,2 à 4,4 m/TN et superficiel de 2,2 à 2,6 m/TN pour les essais 1 et 2. Les diagrammes de battage sont en annexe.

III-5-2- Essais de laboratoire

Ces essais généralement simples sont destinés à décrire et à identifier les sols, à les classer et apprécier leur état. Les échantillons prélevés in-situ lors des sondages carottés ont fait l'objet d'analyses physique mécanique et chimique.

III-5-2-1- Essais physiques

III-5-2-1-1- Granulométrie

L'analyse granulométrique est l'essai par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un sol en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. Le résultat principal de cette analyse est la courbe dite "granulométrique". La première étape de la caractérisation d'un sol consiste à en évaluer la composition à partir de sa courbe granulométrique. La courbe est tracée en coordonnées semi-logarithmiques, de façon à donner une représentation plus précise des particules fines (qui influent énormément le comportement des sols). Les données obtenues permettent de tracer la courbe granulométrique qui donne la répartition en pourcentage des grains solides selon leurs dimensions.

Cet essai consiste à classer les différents grains constituant un échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Il existe deux types d'essais selon le sol à analyser :

- Par tamisage (par voie humide ou sèche) pour les éléments de diamètre $\phi \geq 80\mu\text{m}$,
- Par sédimentométrie pour les éléments de diamètre $\phi < 80\mu\text{m}$.

Les résultats sont traduits sous forme d'une courbe granulométrique, tracée dans des axes semi-logarithmiques, à partir de laquelle on peut déterminer :

Le coefficient d'uniformité de Hazen : $Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

La notion de granulométrie étalée ou granulométrie serrée est mise en évidence par un coefficient d'uniformité ou coefficient de HAZEN noté Cu : $Cu = d_{60}/d_{10}$ où : d_y est la dimension du tamis correspondant à y % de passants. Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée, notamment en ce qui concerne les sables. Il permet d'exprimer l'étalement de la courbe granulométrique.

Ce coefficient est donc immédiatement calculé à partir de la courbe granulométrique.

- Si $Cu < 2$, la granulométrie est uniforme ou (serrée) ;
- Si $Cu > 2$, la granulométrie est étalée (ou variée).

Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{d_{30}}{d_{10} \times d_{60}}$

di : diamètre correspondant à **i** % de pourcentage de tamisât (passant) cumulé.

Le coefficient de courbure permet de décrire la forme de la courbe granulométrique et la valeur du coefficient d'uniformité permet de classer les échantillons étudiés comme suit :

Nom	Sol à matrice fine			Sol à matrice grossière						cailloux	blocs
	argile	limon		sable			gravé				
		fin	moyen	grossier	fin	moyen	grossier	fin	moyen		
Dimensions des particules (mm)	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200

Figure 30 : classification des sols selon les dimensions des particules

L'examen de la courbe granulométrique d'un échantillon constitué de gravier, de sable, de silt et d'argile, donne les proportions respectives de chaque type de sol exprimées en pourcentages. La courbe granulométrique de l'échantillon prélevé et analysé permet d'identifier les types de sols à partir de l'étude.

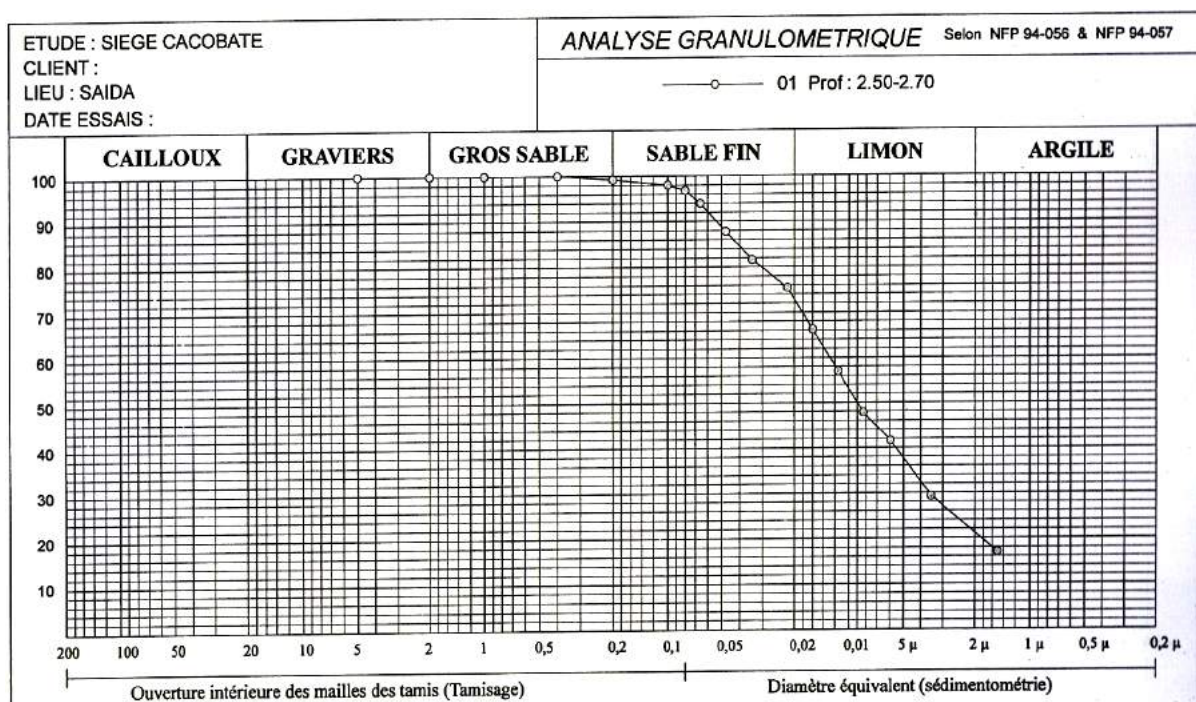


Figure 31 : courbe granulométrique de l'échantillon 01

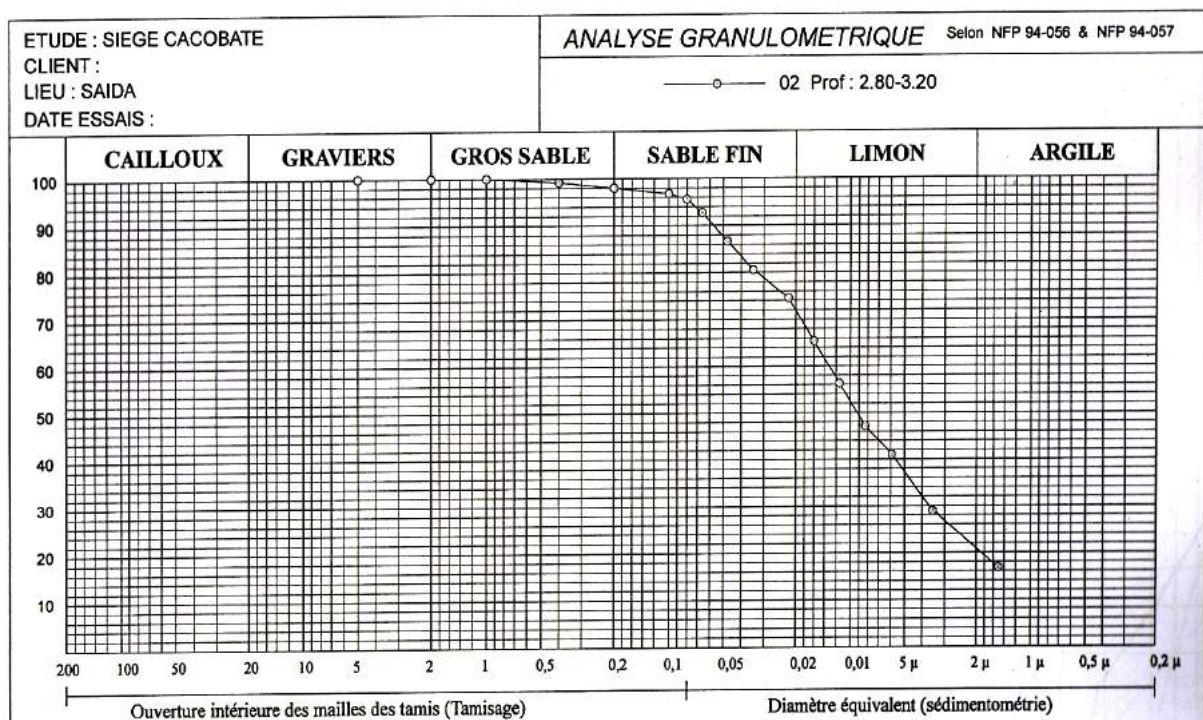


Figure 32 : courbe granulométrique de l'échantillon 02.

Selon les résultats des essais, il s'agit d'un sol fin à granulométrie étalée avec une fraction de particules fines variant de (95,60 à 96,80) %.

Tableau n° 07 : Résultats des essais de granulométrie

Echantillon	< 80 μ (%)	Prof. Moye (m)	D60 (mm)	D30 (mm)
Ech-1	96,80 %	2.50 - 2.70	0.013	0.004
Ech-2	95,60 %	2.80 – 3.20	0.013	0.004

III-5-2-1-2- Limites d'Atterberg

L'eau influence le comportement des sols notamment argileux en modifiant leurs caractéristiques physiques et mécaniques. La consistance d'un sol varie donc en fonction de la teneur en eau qui a une influence directe sur sa plasticité et sa cohésion. Ces états dépend de la quantité d'eau adsorbée et plus particulièrement des propriétés colloïdales des argiles et à leur proportion dans le sol considéré. La connaissance des limites d'Atterberg permet de caractériser le comportement d'un sol par corrélations lorsqu'il est soumis à différentes sollicitations.

On distingue trois limites conventionnelles :

- La limite de liquidité **WL** : teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique,
- La limite de plasticité **WP** : teneur en eau qui sépare l'état plastique de l'état solide,

- La limite de retrait **WR** : teneur en eau qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide et sans retrait, cette limite correspond à la quantité d'eau juste nécessaire pour combler les vides d'un sol lorsque celui-ci atteint son volume minimum.
- Indice de plasticité : est un paramètre important, déduit de la consistance **IP = WL – WP**, il donne une indication sur l'étendue du domaine plastique. Un ordre de grandeur de cet indice est donné par la relation de Casagrande **IP = 0.73 (WL-20)**. L'indice de plasticité permet donc d'avoir une indication assez précise sur la nature d'un sol fin. Un IP élevé correspond à un sol argileux dont les propriétés seront très sensibles à la teneur en eau ; un IP faible correspond à un sol peu argileux, moins sensible aux variations en teneur en eau.
- Indice de consistance : **IC = WL-Wnat/IP**

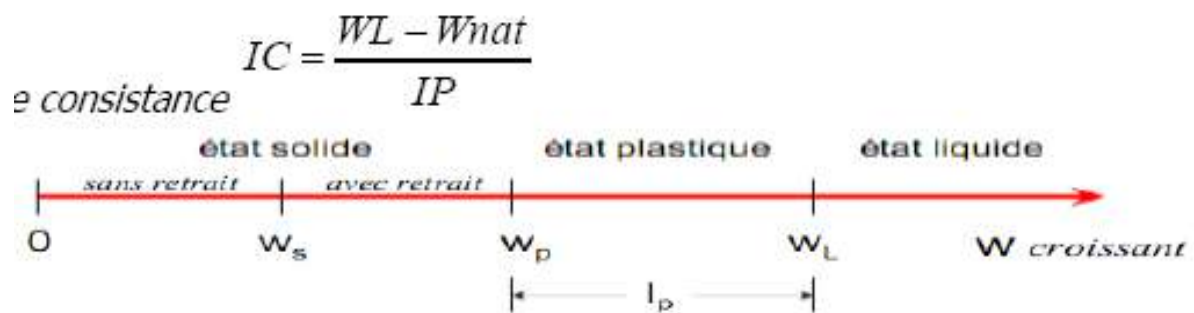


Figure 33 : diagramme des limites conventionnelles des sols

Pour les deux essais caractérisant la largeur de la zone du sol étudié, l'indice de plasticité (**IP**) est supérieur à 25,55 et inférieur à 26,07. La lecture du diagramme de plasticité révèle donc **une argile très plastique**.

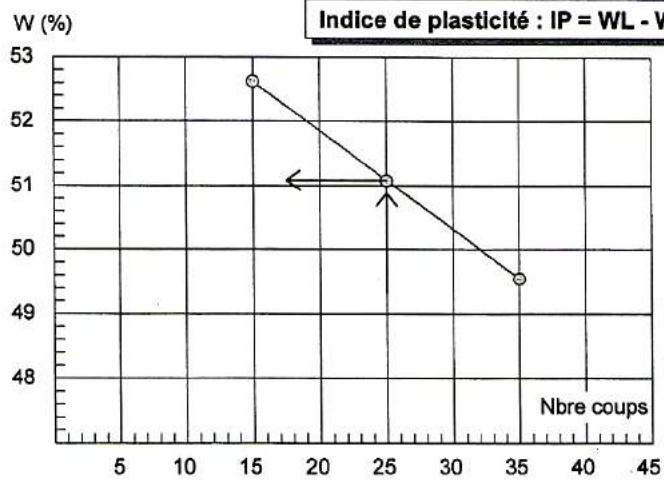
La corrélation de la teneur en eau naturelle **W** et les limites d'Atterberg permet de déduire l'état de consistance du sol étudié caractérisée par son indice de consistance (**IC**) qui est de 01 et 0.97 respectivement pour les deux échantillons. L'indice de consistance est donc ≤ 01 et le sol étudié est donc très dense.

Tableau n° 08 : Résultats des essais des limites d'Atterberg

Ech.	sondage	Prof. Moye (m)	$\gamma_h (t/m^3)$	$\gamma_d (t/m^3)$	WL %	WP %	W %	IP %	IC
Ech-1	SC01	2.50 - 2.70	2,11	1,83	51.09	25.02	15,6	26.07	1.00
Ech-2	SC02	2.80 – 3.20	2,11	1,83	49.98	24.43	15.6	25.55	0.97

Limites d'Atterberg

Etude : SIEGE CACOBATE	Référence Sondage : 01
Lieu : SAIDA	Profondeur : 2.50-2.70
Client:	Date essai :
Nature :	Opérateur : BOUGHRARA



Essai N°	W (%)
1	25,01
2	25,05
3	25,01

Limite de Liquidité (WL) = 51,09 %

**Limite de Plasticité
WP = 25,02 %**

ABaque DE CASAGRANDE

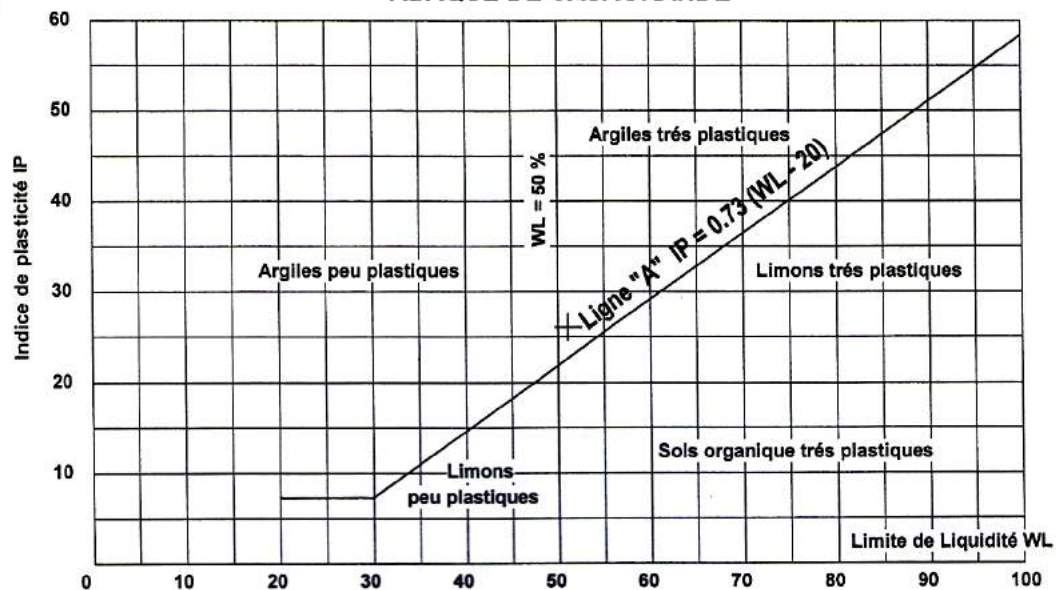


Figure 34 : limites d'Atterberg de l'échantillon 01.

Limites d'Atterberg

Etude : SIEGE CACOBATE	Référence Sondage : 02
Lieu : SAIDA	Profondeur : 2.80-3.20
Client:	Date essai :
Nature :	Opérateur :

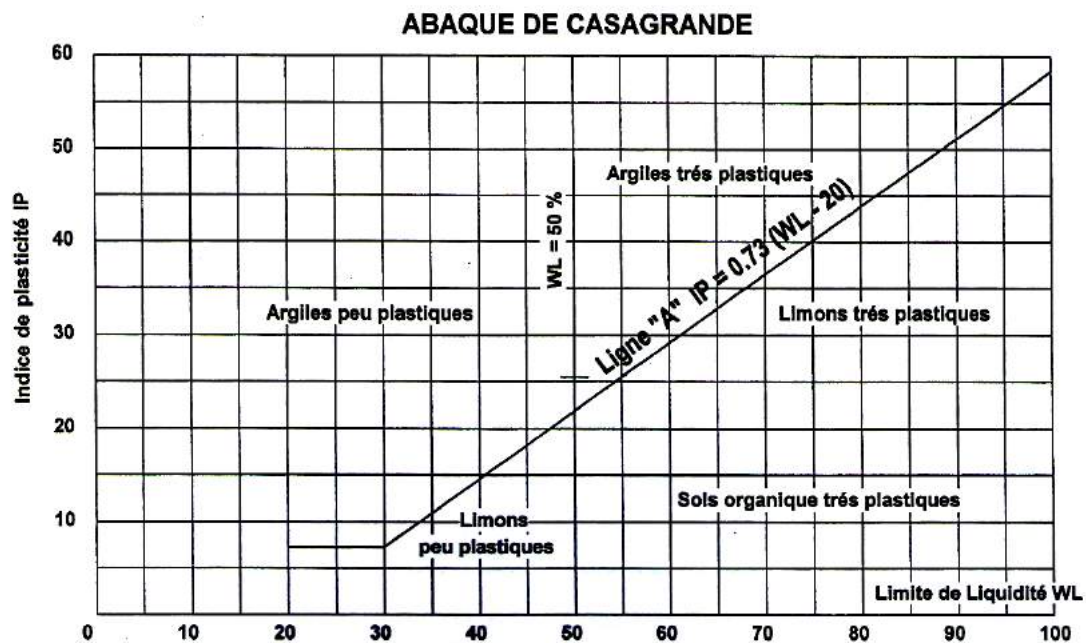
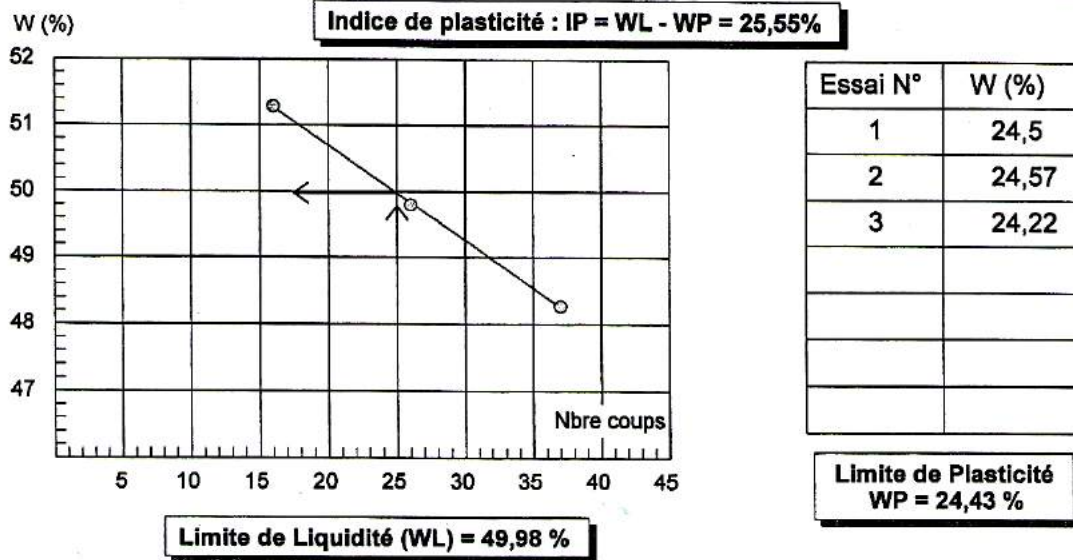


Figure 35 : limites d'Atterberg de l'échantillon 02.

III-5-2-2- Essais chimiques (NFP 18-01)

Les résultats de l'analyse chimique sommaire du sol étudié ne constatent aucun risque d'agressivité sur les bétons et armatures. Les deux échantillons sont faiblement organiques comme le montre le tableau suivant :

Sondage ou puits	Profondeur (m)	Carbonates CaCO_3	Sulfates	Chlorures	Matière organique
Sc 01	2.50-2.70	03.28	Neant	0.39	5.68
Sc 02	2.80-3.20	09.86	Neant	0.60	7.33

III-5-2-3- Classification des sols

La classification des Laboratoires des Ponts et Chaussée (L.P.C.) français s'appuie essentiellement sur l'analyse granulométrique et sur les caractéristique de plasticité de la fraction fine. Ces analyses sont complétées par des essais très simples relatives à la couleur, l'odeur, les effets de l'eau...etc. La classification GTR 92 utilisée dans les travaux de terrassement est très largement répandue. Les sols sont désignés par le nom de la portion granulométrique prédominante qualifiée par un adjectif relatif aux portions secondaires.

Classification	Caractéristiques	Condition	Désignation
GRAVIER	plus de 75 % de grains > 0,075 mm pas de fraction > 4 mm	plus de 85 % d'éléments < 0,075 mm	gravier propre non gradué
		entre 70 % et 85 % d'éléments < 0,075 mm	gravier propre non gradué
	plus de 40 % de grains > 0,075 mm pas de fraction > 4 mm	entre 12 % et 70 % d'éléments < 0,075 mm	gravier non gradué
		entre 5 % et 12 % d'éléments < 0,075 mm	gravier argileux
SABLE	plus de 75 % de grains > 0,075 mm pas de fraction > 4 mm	entre 85 % et 100 % d'éléments < 0,075 mm	sable propre non gradué
		entre 70 % et 85 % d'éléments < 0,075 mm	sable propre non gradué
	plus de 40 % de grains > 0,075 mm pas de fraction > 4 mm	entre 12 % et 70 % d'éléments < 0,075 mm	sable limoneux
		entre 5 % et 12 % d'éléments < 0,075 mm	sable argileux

Figure 36 : Classification des sols LCPC et GTR, source : 4geniecivil.com

III-5-2-4- Essais mécaniques

Ces essais de résistance mécanique ont pour objet de déterminer la résistance du sol au cisaillement et la stabilité des ouvrages.

III-5-2-3-1- Capacité portant du sol

Les résultats des essais de pénétration dynamique et l'observation des sondages permettent par extrapolation d'évaluer la résistance des terrains rencontrés. Les essais au pénétromètre dynamique lourd ont été effectués pour un triple but :

- Déterminer la résistance du sol à la pénétration R_d .
- Localiser le premier horizon dur à savoir le bon sol pour l'ancrage des fondations.
- Vérifier le degré d'homogénéité du sol.

a- Calcul de la contrainte ultime q_u

La formule ci-dessus dite "formule des hollandais" est utilisée particulièrement pour apprécier la faisabilité des fondations superficielles ou bien pour contrôler la portance d'un horizon bien connu.

$$q_u = \frac{R_d}{K_d} ; \text{ avec } K_d \# 5 \text{ à } 7.$$

Où (R_d) est la résistance dynamique moyenne sous la fondation et (K_d) est le coefficient correcteur qui dépend de la nature du sol, des conditions de l'essai et de la nappe phréatique.

b- Calcul de la contrainte admissible q_a

La contrainte admissible est déduite de la contrainte ultime par la formule suivante :

$$q_a = \gamma \cdot D + \frac{q_u - \gamma \cdot D}{F} ; F \geq 3$$

q_a - Contrainte admissible

q_u - Contrainte ultime

q_d - Résistance dynamique

K_d - Coefficient correcteur qui dépend de la nature du sol, des conditions de l'essai et de la nappe phréatique,

D - Encastrement de la fondation,

F - Coefficient de sécurité,

γ - Poids volumique,

Les résultats obtenus sont résumés comme suite :

D (m)	q_d (bar)	K_d	γ (t/m³)	F
2,20	70	7	2,11	6

$$q_a = 0,211. 2,20 + \frac{70/7 - 0,211. 2,20}{6} ;$$
$$q_a = 2,05 \text{ bars}$$

III-5-2-4- Essais oedométrique (NFP94-011)

Lorsque des couches de sols sont soumises à des sollicitations de grande étendue, on peut considérer que la compression est unidimensionnelle. La déformation verticale qui en résulte est appelée tassement. Pour simuler en laboratoire ces chargements unidimensionnels, on comprime des échantillons intacts de sol dans un appareil appelé oedomètre. Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

- Courbe de compressibilité qui indique le tassement total en fonction de logarithme de la contrainte appliquée.
- Courbe de consolidation qui donne le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.

Ces essais permettent de mesurer la compressibilité à l'oedomètre et détermination des caractéristiques de cisaillement.

Contrainte effective de pré-consolidations' sous laquelle le sol s'est déjà consolidé au cours de son histoire.

Indice de compression (Cc) : c'est la pente de la tangente à la courbe vierge qui permet de préciser la sensibilité du sol au tassement le long de cette courbe.

Indice de gonflement (Cg) : il traduit la déformabilité d'un échantillon non gonflant en deçà de la contrainte de consolidation à laquelle il a été soumis.

Tableau n° 10 : Résultats des essais oedométriques

Echantillon	Sondage	Prof. moy (m)	Pc σ' bars	Cc	Cg
Ech-1	SC-01	2.50 - 2.70	1,51	0,238	0,076

III-5-2-4-1- Vérification des tassements d'après les essais œdométriques

Le dimensionnement des ouvrages géotechniques se heurte souvent complexité inhérente de l'interaction sol/ouvrage, due entre autres à la complexité elle-même de comportement du sol. Variabilité spatiale, anisotropie, non linéarité matérielle prononcée, repense dépendant de l'histoire et du chemin de contraintes, tels sont quelques-uns de ces aspects marquant cette complexité.

Le tassement est l'action de la fondation sur le sol, par le biais des surcharges qui lui sont transmises. Il est la somme des tassements sphériques et déviatoriques.

Le calcul de tassement est fait suivant la théorie de la consolidation en utilisant les résultats des essais œdométriques.

a- Méthode de calcul

Les couches compressibles sont décomposées en tranches de hauteur h_i croissante dont on calcul on calcule le tassement Δh_i par la formule suivante :

$$\Delta h_i = \frac{\Delta e_i}{1 + e_0} \cdot h_i$$

Où

Δe_i : variation de l'indice des vides du sol sous l'augmentation de contrainte $\Delta \sigma_i$ calculée au niveau médian de la tranche.

e_0 : indice des vides initial du sol.

Les valeurs des $\Delta \sigma_i$ sous les fondations sont calculées grâce à l'abaque de Streinbrenner. Le tassement total sera la somme des tassements de chaque tranche. Les calculs indiquent des valeurs de tassements prévisibles de l'ordre de 3 et 7 centimètres pour une semelle carrée et une semelle filante respectivement.

Profondeur d'ancrage : 2,2 mètres

Largeur de la fondation : 1,2 mètre

Contrainte de service : 1,9 bar

Tableau n° 11 : Caractéristiques géotechniques des couches

Profondeur (m)	e_0	Pc (bar)	Densité (t/m ³)	Cc (%)
0-10	1,125	1,51	2,11	23,8

- **Semelle carrée**

Tableau n° 12 : Récapitulatif des résultats de calcul des tassements

Profondeur (m)	Cc (%)	e_0^{-1}	Pc (bar)	$\Delta\sigma$ (bar)	$Q\sigma$ (bar)	I_z	ΔH (cm)
2,2 - 4	23,8	2,04	1,63	.853	.65	.449	2.43
4 - 6	23,8	2,024	2,03	.146	1.05	.077	.423
6 - 8	23,8	2,013	2,45	.055	1.47	.029	.12
8 - 10	23,8	2,004	2,88	.036	1.89	.019	.062

- **Contrainte de service = 1,9 bars** **Tassement total = 3.03 cm**
- **Largeur de la semelle = 1,2 mètres**

- **Semelle filante**

Tableau n° 13 : Récapitulatif des résultats de calcul des tassements

Profondeur (m)	Cc (%)	e_0^{-1}	Pc (bar)	$\Delta\sigma$ (bar)	$Q\sigma$ (bar)	I_z	ΔH (cm)
2,2 - 4	23,8	2,04	1,63	1.219	.65	.642	4.93
4 - 6	23,8	2,024	2,03	49	1.05	.258	1.244
6 - 8	23,8	2,013	2,45	3	1.47	.158	.606
8 - 10	23,8	2,004	2,88	.239	1.89	.126	.39

- **Contrainte de service = 1,9 bars** **Tassement total = 7.17 cm**
- **Largeur de la semelle = 1,2 mètres**

III-5-2-5- Evaluer la sensibilité du sol aux variations de teneur en eau

Les essais permettant d'apprécier le caractère gonflant d'un sol argileux sont nombreux :

- Limites d'Atterberg, mesure de l'indice de plasticité IP ;
- Mesure du potentiel gonflement à l'oedomètre ;
- Valeur au bleu VSB ;
- Essai de dessiccation permettant d'apprécier la limite de retrait ;
- Mesure de la granulométrie ...etc.

Les non spécialistes se trouvent souvent confronter à des difficultés face à l'offre d'essais des laboratoires. Quels sont donc les essais les plus significatifs ?

La corrélation des essais précédents avec l'indice de plasticité (IP) permet de déduire le potentiel de gonflement du sol étudié. Pour apprécier la représentativité des essais précédemment cités et comparer les résultats obtenus de chaque essai, les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous sont souvent retenues mais il ya lieu de préciser qu'i s'agit bien des ordres de grandeur à utiliser avec précaution selon les situations étudiées :

IP % Limites d'Atterberg	Potentiel de gonflement
> 35	Très élevé
20 à 35	Elevé
< 20	Faible

Pression de gonflement en MPa	Potentiel de gonflement
1	Très élevé
0,25 à 1	Elevé
0,15 à 0,25	Moyen
< 0,15	Faible

Valeur au bleu VBS	Potentiel de gonflement
> 8	Très fort
de 6 à 8	Fort
de 3 à 6	Moyen
< 3	Faible

Conclusion

Le programme de campagne de reconnaissance du sol d'assise s'est effectué en réalisant l'essentiel des essais in-situ et des essais de laboratoire. La description lithologique du sol d'assise est formée d'une couche de calcaire marneux avec des passages gréseux couvert par une couche de remblai de couleur brunâtre d'épaisseur de 1,50 à 2m/TN. Cette formation est surélevée d'une couche de remblai qui varie de 1,5 à 2 mètres.

Les allures des courbes pénétrométriques obtenues (en forme de dents de scie) caractérisent un sol fin à granulométrie étalée avec une fraction de particules fines variant de 95,60 à 96,50 % selon l'analyse granulométrique. L'indice de plasticité (**IP**) est compris entre 25,55 et 26,07% caractérisant un sol au très élastique. La corrélation de la teneur en eau naturelle **w** et les limites d'Atterberg conclue sur un sol très dense.

Les résultats des essais œdométrique caractérise un sol sur-consolidé et fortement compressible. La résistance dynamique est en général moyenne à forte ; elle oscille de 70 bars (minimum) allant à des pics de 290 bars (maximum) selon la profondeur. Le refus est moyennement profond de 3,2 à 4,4 m/TN et superficiel de 2,2 à 2,6 m/TN pour les deux essais réalisés. La contrainte admissible σ_{sol} est de l'ordre de 1,9 bar. Sur toute la profondeur de reconnaissance, les investigations du sol n'ont rencontré aucune présence d'eau car aucune humidité n'a été décelée sur les tiges du pénétromètre. Toutefois, le sol d'assise de fondation est très sensible à l'eau et afin d'éviter un changement du comportement du sol d'ancrage, la protection des fondations contre les arrivées accidentelles des eaux de ruissellement reste une mesure indispensable pour la stabilité et la durabilité de l'ouvrage.

Chapitre IV : Interprétation des désordres et remèdes possibles

Introduction

L'interprétation des désordres affectant les ouvrages de génie civil n'est pas un exercice de tout repos. L'observation aigüe et le bon sens sont des éléments déterminant pour fonder une première approche de la pathologie. L'expérience reste aussi une aide précieuse qui conduira à reconsidérer et corriger, chaque fois nécessaire, un premier jugement. Autrement dit, il est difficile d'analyser avec précision une fissure d'ouverture faible et de longueur réduite. Mais, faut-il s'inquiéter et s'interroger longuement si la pathologie est sans conséquence réelle sur le comportement de l'ouvrage. À l'exception des situations extrêmes liées à des tassements majeurs du sol d'assise des fondations ou lorsque les fissures accompagnent une défaillance de l'ouvrage porteur, la fissuration d'un mur ne suscite pas une inquiétude particulière sur la solidité de la structure considérée. En revanche, si la fissuration est discrète, c'est-à-dire de l'ordre du millimètre ou une microfissuration, il convient de garder présent à l'esprit que cette dernière peut toujours permettre l'infiltration de la pluie vers l'intérieur du bâtiment. Il s'agit là d'une fissure qui peut devenir perméable et nuisible si elle n'est traitée.

Les observations in situ ont permis l'inventaire des désordres observables. Afin de comprendre leurs origines et analyser leur gravité, une approche systématique est adoptée pour établir un diagnostic de nature à prescrire des solutions techniques appropriées.

IV-1- Interprétation des causes probables des désordres

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. Il n'existe pas de règle simple, pour identifier une pathologie, à la vue de fissures et affirmer les désordres observés comme conséquence directe d'un mauvais comportement des fondations par exemple. C'est dire que l'expertise est travail de réflexion approfondie faisant appel à la connaissance de bases de la résistance des matériaux pour un bon diagnostic. La campagne d'identification du sol est une investigation complémentaire pour conclure que les fissures avec une inclinaison de 45° sont la conséquence d'un tassement différentiel. Un mur coupé par des fissures obliques subit presque toujours les effets d'un tassement du sol d'assise.

Les fissures de cette ampleur sur la façade du bâtiment s'accompagnent 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 œuvres.

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 des bureaux. 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. Cette menuiserie en bois a été remplacée par une menuiserie en aluminium et en PVC.

IV-1-1- Pathologies de fondation

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 laissent 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 du bâtiment expertisé, repose justement sur un sol de cette nature en l'occurrence le calcaire marneux sensible à l'eau. Les sondages en profondeur n'avaient certes pas constaté de traces d'humidité sur les tiges mais l'analyse de plasticité avait conclu sur un sol très plastique mais fortement compressible de la couche de calcaire-marneux rencontrée dès 1,5 et 2 mètres de profondeur selon les sondages.

IV-1-1-1- L'origine des eaux d'infiltration

Les venues accidentelles d'eau peuvent avoir diverses origines :

- la dégradation du réseau d'évacuation des eaux pluviales,
- la dégradation du solin périphérique de protection du bâtiment en quelques endroits,

- la présence d'une végétation abondante favorise l'infiltration des eaux pluviales qui influent directement l'état hydrique du sol.
- L'arrosage anarchique de l'espace vert dont l'impact sur l'affaissement constaté est indéniable,
- la détérioration de la tuyauterie (chauffage central, conduits d'eau potable) est aussi une source supplémentaire des eaux d'infiltration.

A- Les eaux de ruissellement

Les eaux pluviales, si elles ne sont pas évacuées, elles se déversent directement sur le terrain nu. Une bonne partie de cette eau s'infiltre dans le sol et accélère son tassement en accentuant les désordres de la maçonnerie et les affaissements des dallages en béton.

Ce cas est classique lorsque le bâtiment se trouve implanté dans une zone où les eaux de surface peuvent être abondantes et dont l'écoulement est accentué par un terrain en forte déclivité (figure n°26). La situation du bâtiment en bordure d'une voie de desserte est de ce point de vue décisif. Cette voie est en effet le chemin naturel des eaux de pluies en provenance de la zone urbaine située en amont du bâtiment. L'urbanisation de cette partie de la ville édifiée sur un terrain en pente n'a pas été précédée par des aménagements urbains à dessein de traiter la problématique des inondations consécutives au changement du tracé naturel du réseau hydrographique. Les pentes des terrains en amont du siège de CACOBATPH sont de l'ordre de 5%, 10% et 15% (figure 37). En absence d'un système urbain d'évacuation des eaux pluviales toutes les eaux pluviales en provenance de ces terrains s'acheminent sous l'effet de la pesanteur vers les points bas en l'occurrence le siège de CACOBATPH et les ouvrages mitoyens affectés par les mêmes types de désordres.

En l'absence d'un dispositif d'évacuation des eaux pluviales, la voie publique devient alors la surface de ruissellement des eaux pluviales pendant les périodes de fortes précipitations. La conception hasardeuse d'un drain périphérique n'a pas pour autant empêcher l'envahissement du bâtiment par les eaux pluviales. L'apport continu de l'eau en période pluvieuse associé à l'impossibilité d'en évacuer l'excès qui s'accumule aggrave d'avantage les désordres.

Les eaux pluviales vont soit stagner sur le sol ou ruissèler sous l'effet de la pesanteur vers le pied des fondations pour atteindre le sol d'assise des fondations par infiltration d'autant plus si le remblai des fouilles est perméable.

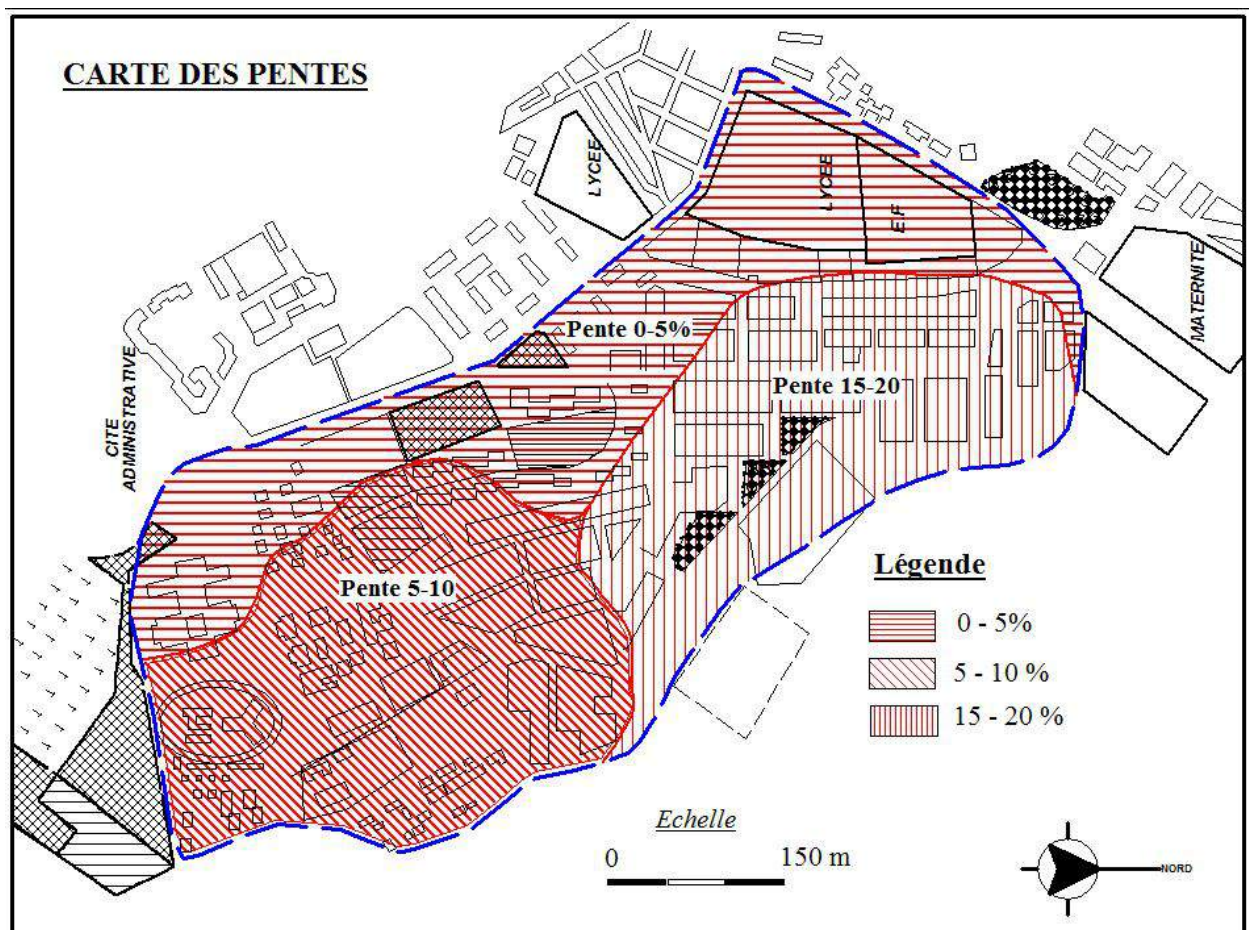


Figure 37 : Carte des pentes, URBAT, Agence de Saïda.

L'observation de fissures à la surface du sol ne remplace évidemment pas des essais de laboratoires sur des échantillons prélevés in situ. Mais elle constitue une piste pour orienter la campagne géotechnique souvent indispensable.



Figure 38 : Traces de ruissellement, tâches d'humidité sur une poutre, Sous-sol



Figure 39 : Remblai remanié soit par l'infiltration des eaux pluviales ou par les fuites d'eau des canalisations.

B - 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 des dégâts dont le cloquage des peintures est les signes apparents. L'eau quelque soit son origine reste donc la source principale de problèmes d'humidité. Comment l'eau est-elle présente dans les murs ?

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 :

- 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 [18].

C- 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.



Figure 40 : dégradation de l'étanchéité, déversement des fuites d'eau de citerne installée à la terrasse



Figure 41 : tuyauterie défectueuses de la chaudière et écoulement d'eau dans le sous-sol



Figure 42 : obstruction des caniveaux à l'accès du sous-sol, la dénivelée du terrain favorise l'arrivée des eaux de ruissellement chargées de terre à l'intérieur du sous-sol.

D - Présence de végétation abondante

Une bonne partie de la cour laissée à l'état vierge sans dallage, elle est envahie par une végétation abondante.

La présence de végétaux avides d'eau au voisinage d'une construction peut générer des désordres importants. En période de sécheresse, les racines et les radicelles peuvent passer sous les fondations ou sous les dallages à la recherche de l'eau et de l'humidité. Elles contribuent à l'assèchement du sol sous les fondations et peuvent se révéler nuisibles. Les végétaux favorisent la rétention des eaux et peuvent se révéler nuisibles. En cherchant l'humidité, les racines s'orientent en profondeur et contribuent à l'assèchement du sol sous fondations en provoquant le phénomène de tassements.



Figure 43 : Végétation abondante



Figure 44 : l'incidence des racines d'arbres sur l'effondrement d'un mur

IV-1-2- L'action de l'eau

L'action des eaux d'infiltration sur les caractéristiques mécaniques et physique du sol d'ancrage des fondations est indéniable. Il en résulte deux inconvénients :

Pendant les mois pluvieux, les eaux de ruissellement inondent le sous-sol en passant par les ouvertures des dallages défectueux et sous les murs et les semelles ; en s'infiltrant sous la fondation ; elle ramollie le sol et diminuera sa force portante. Ce processus amorce l'enfoncement de la fondation dans le sol dont le mouvement n'est jamais uniforme. Il en résulte des tassements différentiels. Les nombreuses dégradations constatées à tous les niveaux du bâtiment ne sont que les manifestations en retour des tassements provoqués par l'action de l'eau.

IV-1-2-1- Tassements du sol d'assise

Les tassements d'ensemble ou absolus sont en fait très rares par rapport aux tassements différentiels. Les tassements différentiels sont le plus à redouter. Ils se produisent lorsque la réaction du sol, composé essentiellement d'argile ou de calcaire marneux, sous l'effet des charges exercées par la structure, n'est pas homogène. Il convient donc de réfléchir au comportement de la structure lorsque son sol d'assise s'enfonce. Il s'agit là du tassement différentiel, du à l'enfoncement d'une partie de l'ouvrage dans le sol plus que les autres parties ce qui se traduit par des fissures sur les façades. Le sol se rétracte sous les fondations en période de sécheresse. Les constructions légères, peu rigides et mal chaînées sont très sensibles à ce type de pathologie. Il y a lieu de parler d'interaction sol-structure ou plus simplement de la capacité de la structure à s'accommoder d'une déformation du sol d'ancrage.

Les sinistres des fondations sont nombreux voire spectaculaires et nécessitent souvent des réparations onéreuses. Lorsqu'une fondation d'une façade s'enfonce dans le sol, elle engendre des fissures à travers les murs de la structure. Quand le tassement atteint une certaine ampleur, la fissuration des murs pourra atteindre 1 millimètre et plus. Les cloisons, les plafonds et les planchers pourront être aussi affectés. Il s'agira le plus souvent d'une pathologie évolutive et on parlera donc de fissures vivantes. Les désordres correspondants peuvent à la longue compromettent la solidité de l'ouvrage.

Le plancher bas du sous-sol est exécuté en béton sur la moitié du bâtiment, cependant l'autre moitié est remblayée par le remblai des fouilles mal compactées. L'eau s'accumule facilement dans le remblai si celui-ci est perméable. D'ailleurs, les traces de ruissellement sur le remblai mal compacté sont bien visibles avec un léger glissement de celui-ci. Les fuites d'eau des canalisations, la

mauvaise qualité des remblais et les défauts de compactage sont souvent à l'origine des affaissements affectant les ouvrages en génie civil.

En revanche, la partie gauche de l'ouvrage comporte donc un sous-sol. Cette partie avec sous-sol a aussi subi des tassements. Les effets de tassements différentiels se concentrent souvent à la jonction entre deux blocs de poids différents. C'est le cas des sous-sols partiels. Compte tenu du profil du terrain et probablement des terrassements, le sous sol n'a pas été étendu sous l'ensemble de la construction. Alors qu'il est souvent plus simple d'étendre le sous-sol sous toute la construction. Ce type de situation se révèle particulièrement néfaste en présence de sol sensible à l'eau notamment les argiles. Il aurait fallu s'abstenir de tout sous-sol partiel ou prévoir un joint de rupture entre les deux parties du bâtiment.

Tout comme, le gonflement du carrelage n'est d'autre que l'effet direct d'un fléchissement du dallage du plancher du rez-de-chaussée (figure n°45). La fissure horizontale dite de plancher (figure 44) qui ceinture le bâtiment sur toute la façade résulte d'un mouvement vertical des fondations. Les semelles ne pouvant plus supporter les charges de la structure alors que le sol d'assise s'est enfoncé et a provoqué le fléchissement du dallage en béton.

La cour sise derrière le siège n'est pas totalement revêtue par un dallage d'où l'affaissement en plusieurs endroits du dallage édifié en partie sur du remblai mal compacté et dont l'épaisseur est comprise entre 1,5 et 2 mètres. Les affaissements observés peuvent être attribués au comportement du sol d'assise sensible à l'eau et comme une conséquence directes des tassements. Ce processus est de surcroît aggravé par la présence, à proximité, du bâtiment de plants de long tige, de végétations et d'herbes sauvages dont le besoin en eau est important en période sèche de sécheresse.



Figure 45 : la fondation insuffisamment supportée par le sol d'ancrage, elle a fléchi en produisant une fissure entre le plancher et le soubassement

IV-2- Interprétation des résultats géotechniques

L'étude essaye d'examiner un cas pratique de désordres superficiels liés au phénomène de tassement du sol. Il s'agit de mettre en évidence les conséquences d'un tassement du sol d'assise des fondations et d'en comprendre les causes. En abordant des concepts théoriques de base en matière de mécanique des sols, cette analyse tente d'expliquer une situation de tassement en se basant sur les résultats des essais géotechniques afin d'établir la relation entre la dégradation du sol et les désordres relevés sur le bâtiment. L'interprétation des données géotechniques a permis de tirer quelques explications quant les désordres relevés :

IV-2-1- La diminution de la force portante du sol

La campagne d'investigation du sol a donné une caractérisation complète du sol. Elle permet de fonder deux hypothèses explicatives de l'ensemble des désordres recensés. Les causes sont en relation directe avec la nature du sol à savoir :

- la couche du remblai d'argile sur lequel est édifié le mur de clôture,
- la couche de calcaire marneuse sensible à l'eau ce qui provoque plus ou moins la déformation du sol selon les points d'appui.

Le sol rappelons-le est constitué 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. Dans les sols saturés à grains fins, on assiste au tassement progressif des bâtiments. La résistance à la pression d'un sol argileux décroît lorsque la teneur en eau augmente. Elle peut dépasser 0,4 Mpa (4 bars) pour les argiles très consistant, mais elle est inférieure à 0,025 Mpa (0,25 bar) pour les argiles très molles [10]. Cette situation a favorisé la dégradation du sol en raison d'un drain de surface défectueux d'où le phénomène de tassement et ses effets indirects sur la maçonnerie de remplissage en particulier.

IV-2-2- le phénomène de retrait-gonflement

La quantité d'eau traversant toute la couche de remblai, une fois en contact avec la couche calcaire-marneux induit inévitablement des mouvements verticaux du sol. Le même phénomène est valable pour la couche du remblai d'argile sur laquelle est édifié le dallage en béton et le logement de fonction. L'infiltration des eaux de pluie provoque un tassement causé par le phénomène de retrait-gonflement de la couche de calcaire-marneux très sensible à l'eau.

Cette hypothèse est corroborée par les résultats des essais de laboratoire. Le sol est une formation calcaire-marneux renfermant des passages gréseux fortement compressible d'où le déséquilibre des efforts sur le sol et le tassement différentiel comme conséquence directe. Les points faibles sont notamment les joints de maçonnerie qui sont les premiers à ne pas résister et à subir les effets des contraintes. Elles concernent aussi les aménagements extérieurs (trottoirs, escaliers) et les allées d'accès.

Si la teneur en eau d'un sol fin varie de façon notable, le gonflement du sol aura des conséquences néfastes notamment les argiles. Ce type de pathologie est bien connu des pays d'Afrique du nord caractérisés par des sols d'argiles sensibles comme la latérite et un climat aride et semi-aride.

L'alternance des périodes de sécheresse et des périodes pluvieuses entraînent naturellement des variations thermiques saisonnières et l'alternance des tassements. Ces changements climatiques ont une influence directe sur les variations de teneur en eau des sols dits gonflant et perturbent leur équilibre hydrique jusqu'à une profondeur d'un (1) au minimum. La région de Saïda a connue une période de sécheresse au cours de la décennie 1989-1990. Les écarts de température importante provoque une diminution importante du volume des sols argileux et se traduit par le phénomène de retrait. Cependant, ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments qui forment un écran contre l'évaporation ; des différences de tassements apparaissent alors entre le centre du bâtiment et sa périphérie et l'apparition des fissures sur la maçonnerie.

IV-2-3- Dégâts du gel

Si une température de 10 °C se maintenait de plus de deux mois [10]. Les calcaires marneux engorgés d'eau peuvent geler en profondeur sous les fondations et le dallage. Immédiatement après le dégel et l'arrivée de la période sèche, plusieurs types de désordres peuvent donc apparaître. Ainsi, les sols argileux en particulier subissent les effets d'un printemps et un été particulièrement secs. Ce phénomène climatique est particulièrement fréquent dans la région de Saïda caractérisée par un climat froid en hiver et sec voire aride en été. Le nombre de jours avec gelée au cours de l'année 2005 est de 63 jours.

Tableau n° 14 : Nombre de jours avec gelée, période 1990-2010.

Année	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	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	03	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 météo de Saïda, 2019.

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.

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

Année	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
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 Saïda, 2019.

Les écarts des températures moyennes mensuelles (températures maximales et minimales) pour la même période (décembre, janvier, février) atteignent des valeurs importantes de l'ordre de 12° C pour des périodes quoique courtes mais suffisantes pour déclencher un cycle de gel/dégel et son effet sur le comportement du sol d'assise des fondations.

Le simple fait de construire un bâtiment provoque une variation de la teneur en eau du sol puisque la surface couverte par le bâtiment empêche l'insolation directe du sol et limite donc l'évaporation. Si l'on construit sans précautions, les désordres qui en résultent sont bien connus : fissurations de murs, soulèvement de dallages sur terre-plein, rupture de cloisons comprimées entre le plancher haut du sous-sol et le dallage qui se soulève...etc.

VI-3- Remèdes et recommandations

La structure proprement dite est intact car on n'a constaté aucune altération apparente de cette dernière. L'ouvrage ne nécessite donc pas un confortement ou un renforcement. Mais à long terme, il peut subir des effets d'un tassement progressif de grande amplitude si des mesures de réparation ne seront pas envisagées à court terme. Quelque soit la solution adoptée, le principe général doit prendre en compte la nature sensible du sol à l'eau et le problème des eaux d'infiltration quelque soit son origine (pluies, ruissèlement, fuites d'eau diverses). Il est recommandé d'écarter de prime abord les eaux de ruissellement loin des fondations.

Il est déraisonnable d'effectuer des travaux de réparation à la fois coûteux et partiels pour un bâtiment modestement fissuré si les causes indirectes des désordres ne sont pas radicalement solutionnées. La pathologie des fondations sur un sol argileux conduit à s'intéresser aux réseaux de drainage, aux réseaux enterrés souvent fuyards, et bien entendu à la pluviométrie. Il est aussi important de savoir si les semelles ont été coulées sur une argile humide ou sèche.

L'ampleur des désordres observés à savoir, l'intensité des fissures et des affaissements des dallages périphériques et les causes correspondantes imposent un ensemble de dispositions et de recommandations afin d'y remédier et assurer une meilleure durabilité pour une exploitation optimale de l'ouvrage.

Pour ce faire, quatre catégories de solutions peuvent être adoptées :

VI-3-1- Précaution à prendre contre les eaux de ruissellement

Il est toujours nécessaire de protéger les assises de fondations contre les arrivées accidentelles des eaux pouvant conduire à un changement du comportement du sol d'assis des fondations. Il est important de rappeler que l'ouvrage se trouve sur le chemin des eaux de pluies en provenance des terrains situés en amont du bâtiment. Cette situation a favorisé la dégradation du sol dépourvu d'un drain de surface et par conséquent les dégradations survenues sur le bâtiment. Pour éviter de tels désordres à l'avenir, la solution la plus classique consiste à prévoir un réseau de drainage urbain à l'échelle de la ville. Ce système d'évacuation des eaux pluviales qui selon la configuration du terrain éloignera les eaux de surface et protégera de la sorte tous les ouvrages environnants des problèmes de stagnation et d'infiltration des eaux si néfastes pour la stabilité des ouvrages. Le but du drainage est la collecte des eaux de ruissellement pour évacuer les surplus vers un système urbain d'évacuation des eaux pluviales. Ce système de drainage à l'échelle de la ville tout au moins à l'échelle du secteur urbain considéré est indispensable pour supprimer une des causes principales des pathologies des fondations.

En ce qui concerne les eaux de ruissèlement à l'échelle de l'ouvrage, des dispositions s'imposent pour supprimer les sources des eaux accidentelles :

VI-3-1-1- Réparation et adaptation du réseau de drainage existant

Les eaux pluviales en provenance de l'accotement de la chaussée en période pluviale favorisent l'infiltration des eaux et le changement localement de la consistance du sol en pied du mur de clôture d'abord et son propagation ensuite 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. Par manque d'entretien, ce drainage s'est dégradé au fil du temps et a cessé de jouer son rôle d'éloigner les eaux de ruissèlement loin du bâtiment. Toutefois, un bon drainage peut aussi à la longue subir des dégradations ou tout au moins connaître des obstructions par certains endroits s'il n'est pas entretenu. Il convient donc de prévoir des visites de contrôles et d'entretien périodique.

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).

VI-3-1-2- Réparation du solin périphérique du bâtiment

Le bâtiment est bordé par un dallage en béton et paliers d'escaliers revêtus partiellement en carrelage. Sur ce solin périphérique que se déversent directement, par l'intermédiaire de dauphins défectueux, les eaux pluviales. Les affaissements en pied des murs de façades se traduisent par l'apparition de vides entre le revêtement de sol et la base des sous bassement des murs.

La réparation du solin périphérique tout autour du bâtiment est indispensable pour faire évacuer les arrivées accidentelles des eaux de pluie loin du bâtiment et éviter toute éventuelle infiltration sous fondations. Il y a lieu, de renforcer les murs de soubassement et couler un solin en béton autour de l'ouvrage afin de limiter l'infiltration et l'évaporation de l'eau du sol.

VI-3-1-3- Réparation des conduites des eaux pluviales

L'obstruction ou la dégradation des descentes d'eau est un facteur aggravant. Les descentes d'eaux pluviales et les tuyaux d'évacuation des eaux usées et de branchements d'eau potable peuvent fuir et

provoquer des dégâts inattendus. La conduite des eaux pluviales doivent déverser directement vers des avaloires disposées autour du bâtiment et déverseront dans les conduits d'assainissement. L'ouverture des joints de rupture constitue une source d'humidité et de détérioration des peintures.

Normalement, les descentes extérieures d'eaux pluviales se raccordent au pied du bâtiment ou dans un regard pour l'évacuation. Cette disposition nécessite, en terrain argileux, une parfaite étanchéité au droit du regard, de façon à éloigner des fondations les eaux de pluie. Les dégradations constatées sont aussi dues à des regards non étanches et posés sur du remblai qui tasse sur place. Aussi, l'eau collectée par les descentes défectueuses se déverse et coule à ciel ouvert le long du dallage affaissé pour atteindre les fondations qui vont alors tasser.



Figure 46 : descentes défectueuses laissant fuiter l'eau à travers le solin et les murs.

Pour y remédier, il faut utiliser des regards préfabriqués en béton ou en PVC posés sur un support rigide scellés dans le mur de sous sol. L'eau devait s'évacuer d'elle-même grâce à la légère pente de dallage périphérique.

VI-3-1-4- Réparation des conduits d'assainissement sous-terrain

La rupture des canalisations enterrées est fréquente pour deux raisons :

- soit elles sont posées dans le remblai des fouilles et qu'elles ne peuvent supporter les tassements.

- soit elles sont bloquées dans le béton des fondations ou dans la partie enterrée des murs du sous-sol et ne peuvent, de ce fait, tolérer aucun mouvement relatif.

Les fuites des eaux d'assainissement dans les sols sensibles à l'eau (argile, marne, calcaire) ont presque toujours des conséquences graves sur leur comportement du sol d'assise des fondations. Le sol s'en trouve ramolli et des tassements s'en suivent. Les accidents ne peuvent être décelés que lorsqu'ils parviennent plus tard. L'inspection du réseau d'assainissement doit être effectué et engagé des réparations si des fuites sont constatées.

VI-3-1-5- Réparation ou suppression des fuites d'eau

L'étanchéité est défaillante en plusieurs endroits, notamment au niveau de la terrasse et dans le sous-sol où la tuyauterie est défectueuse. Le manque d'étanchéité d'un réseau de drainage, d'un regard des eaux pluviales ou des fuites d'eau sur une canalisation enterrée provoquent des circulations d'eau parasite peuvent avoir des effets comparables à ceux 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.

Pour y remédier, il faut prévoir un complexe d'étanchéité en bicouche conforme aux normes avec protection en carrelage conformément au DTR 4-1 pour la terrasse accessible. Les fuites d'eau des canalisations et des conduits doivent être réparées voire supprimées.

VI-3-2- Aménagement de parking et d'espace vert

La cour arrière est laissée à l'état de friche et constitue de ce fait une vaste surface de ruissellement des eaux pluviales. Cet espace peut être affecté à un parking pour le stationnement de voitures (figure n°46). Un aménagement de détail transformant cette surface en espace fonctionnel est susceptible de supprimer définitivement le problème des eaux de ruissellement.

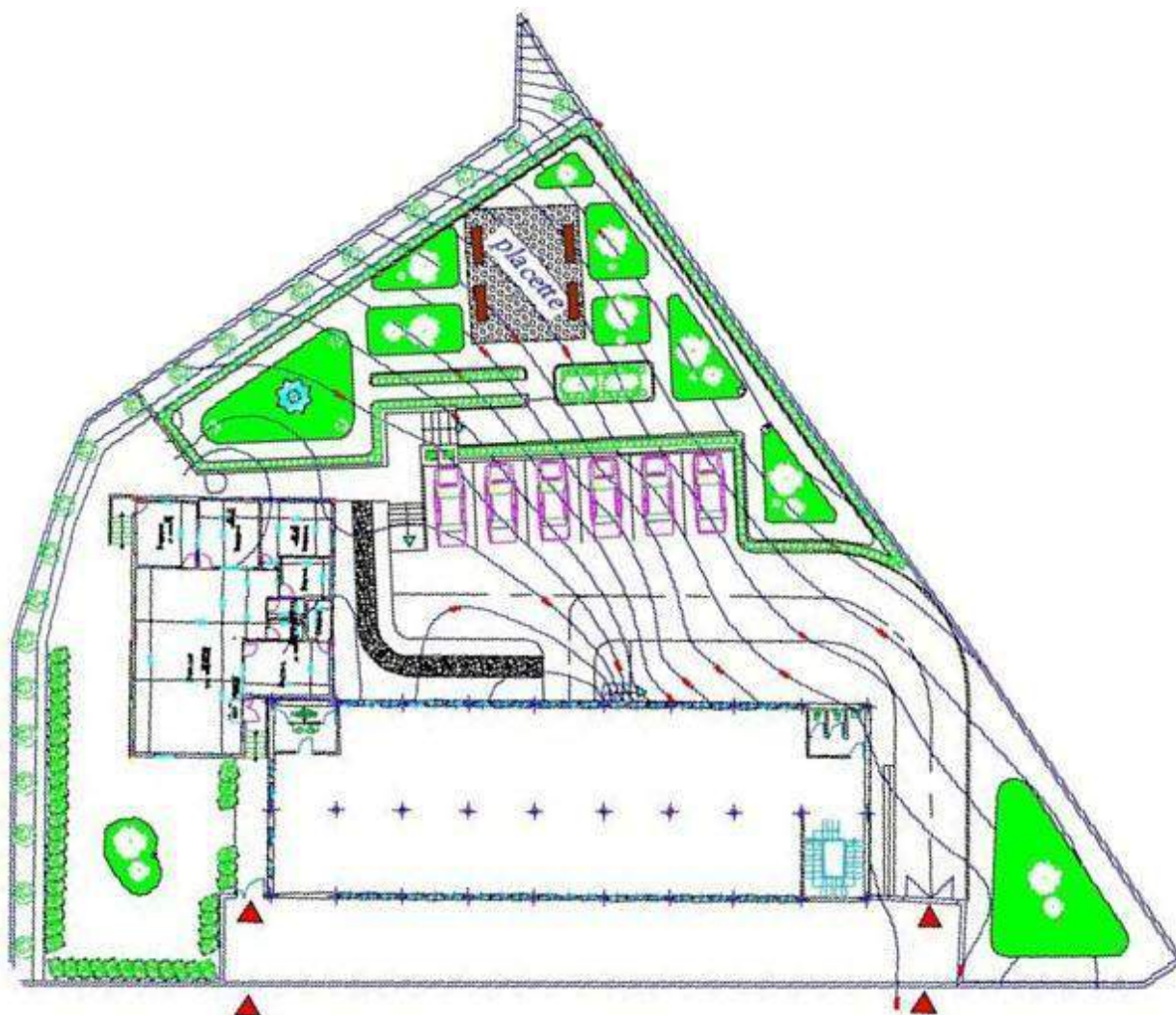


Figure 47 : Proposition d'aménagement d'un parking autos et espace vert, URBAT-Saïda.

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

- Terrassement en grande masse,
- Mise en place d'une couche de fondation en tuf de 20 cm d'épaisseur,
- Mise en place d'une couche de base en grave concassé et Revêtement de la chaussée en béton bitumineux y compris couche d'imprégnation 01 épaisseur 10cm
- Réalisation de bordure de trottoir, de cunette en béton et d'un mur en maçonnerie de pierre (hauteur variable entre 0,80 m et 1,20 m) y compris fouille, béton de propreté, raidisseur et corniche en béton légèrement armé,
- réalisation de conduites en PVC Φ 200 PN6 pour eaux pluviales et d'avaloir avec grilles en fonte de 50x50y compris branchement,
- réalisation de grilles et caniveau en béton armé de longueur de 4 mètres,
- Dallage en béton légèrement armé d'épaisseur 10cm et revêtement en carrelage antidérapant.

VI-3-3- Débroussaillage et suppression de plants aux effets nuisibles.

Certaines essences peuvent avoir des effets dévastateurs sur le sol et les ouvrages (tableau n° 16). Il y a lieu de supprimer les espaces verts en contact directe avec les bâtiments. En ce qui concerne les essences déjà existantes et à ramifications nuisibles, il faut laisser à distance la végétation abusive ou couler un pare-racine c'est-à-dire un écran anti racine en béton armé de 2m de profondeur et de 15 cm d'épaisseur. Cet écran a pour but de limiter l'influence des racines des plants de longues tiges et leur impact sur l'état hydrique des sols en profondeur.

Tableau n° 16 : Influence du système racinal des essences sur les constructions environnantes [19].

	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)	Désordres Liés à l'essence Considérée (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		

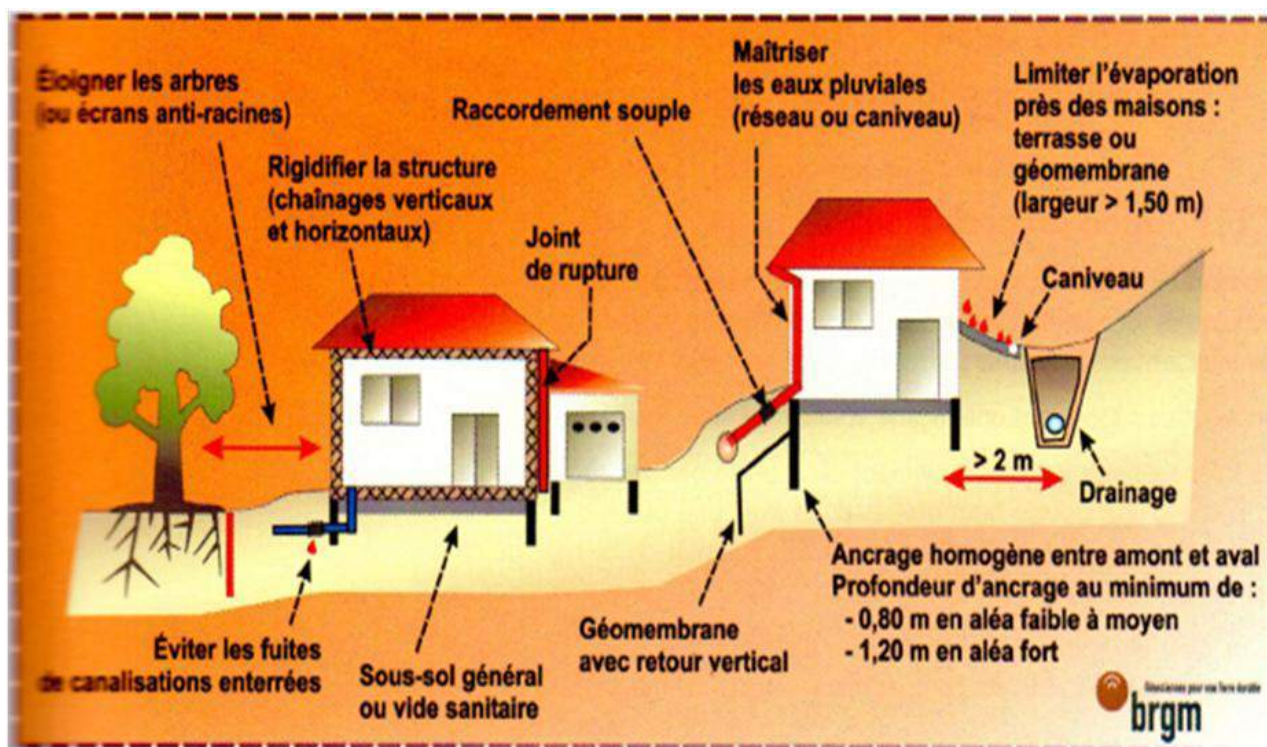


Figure 48 : moyens de prévention ; réf. www.argiles.fr

VI-3-4- Réparation de la maçonnerie dégradée

Le rebouchage des fissures sans succès lors d'une première réhabilitation (2013) a tout de suite fait constater l'inefficacité de cette réparation. Les fissures sont toujours actives alors que d'autres ont fait leurs apparition.

Il existe de nombreuses techniques de réparation de fissuration de la maçonnerie. Le choix des techniques de réparation est fonction du type de fissures. Qu'il s'agit de fissures actives ou stables, profondes ou superficielles. Pour un choix judicieux de la technique de la réparation, il est nécessaire de connaître l'activité de celle-ci. Certaines techniques de réparation permettent de restaurer la capacité portante en améliorant la résistance mécanique de l'élément endommagé tandis que d'autres techniques permettent de rétablir l'étanchéité de la structure et l'amélioration de l'apparence et de l'esthétique des façades du bâtiment.

VI-3-4-1- Remplacement des parties endommagées de la maçonnerie

En ce qui concerne les fissures profonds des murs intérieurs et extérieurs, le degré d'endommagement est de type très fort pour cela la technique de remplacement physique de la partie endommagée est recommandé. Il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée et le reconstruire avec des matériaux dont la résistance est similaire. Dans les murs en brique, l'usage veut que l'on reprenne le même matériau (béton, brique).

L'objectif de l'intervention est restaurer la capacité portante initiale de l'élément endommagé. Au niveau de l'ouverture du joint de rupture, il faut colmater cette ouverture par du mortier du ciment. C'est le cas notamment du mur de clôture qu'il faut démolir et reconstruire selon les normes et règles de construction en vigueur.

VI-3-4-2- Reprise de fissures

Cette technique est souvent recommandée lorsqu'il n'est constaté aucune évolution des fissures. Il convient en quelque sorte de ressouder les différents panneaux de la façade fragmentée par les fissures. L'opération consiste à ouvrir au disque la maçonnerie et recoudre les fissures en posant des éléments plus résistants et plus rigides tels que des épingles constituées de barres en acier. En guise de sutures, des agrafes métalliques, des morceaux de brique, etc. sont intercaler entre les lèvres de la fissure du mur

L'opération consiste de retrouver la continuité perdue du mur endommagé et faire en sorte que les tensions puissent être de nouveau transmises et distribuées de manière homogène dans la partie lézardée. Il faut que la fissure soit passive pour que cette méthode soit efficace. C'est-à-dire que la cause qui est le tassement soit stabilisée et n'agisse plus sur la partie réparée.

Le produit de rebouchage, de préférence un mortier sans retrait, est mis en œuvre dans les saignées et le long des fissures ouvertes. Cette solution de cette nature est évidemment envisageable que dans les parois en maçonnerie.

VI-3-4-3- Injections

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 du 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.

Si la fissure dépasse 3 mm de large, elle peut être injectée avec un mortier de ciment. Cependant, si la largeur dépasse 10 mm et si les briques sont endommagées le long de cette fissure, l'injection demeure inefficace. Si la fissure est approximativement verticale, la méthode de réparation consiste à dégager les briques sur une largeur de 15 à 20 cm de part et d'autre de la fissure et les remplacer en utilisant un mortier très riche en ciment,

Enfin, la reconstitution du monolithisme de la façade accompagné de la projection d'une couche d'enduit ou l'application d'une peinture décorative. Le traitement des façades par l'application d'enduit et de peinture est de nature de redonner de l'esthétique à l'aspect extérieur du bâtiment.

Conclusion

Il ressort de l'analyse des désordres observés que les éléments structuraux en béton sont presque intacts car aucune altération apparente n'a été décelée. L'ensemble des désordres observés trouvent leur explication dans la conjugaison de plusieurs facteurs :

- absence d'un système d'évacuation des eaux pluviales à l'échelle de la ville.
- défaillance du système de drainage existant et la dégradation du solin périphérique font que les eaux de ruissellement finissent leur écoulement au pied des murs pour atteindre les fondations par infiltration. La quantité d'eau infiltrée, une fois en contact avec la formation marneuse induit des mouvements verticaux du sol causés par le phénomène de retrait-gonflement des argiles.
- Les conduites du réseau d'assainissement sont aussi une source supplémentaire des eaux d'infiltration pouvant influencer directement l'état hydrique du sol. Les affaissements du dallage et des escaliers détériorés en sont les conséquences directes des tassements du sol et du remblai provoqués par l'action de l'eau.
- le sol d'assise est une couche de calcaire-marneux caractérisée par une plasticité faible mais fortement compressible avec un potentiel de gonflement-retrait élevé. Les conséquences des variations saisonnières sur l'état hydrique de cette catégorie de sol et les mouvements alternatifs qui s'ensuivent (soulèvement par gonflement et tassement par effet de retrait) entraînent généralement des désordres multiples à l'ouvrage fondé superficiellement. Enfin, la végétation dense a des répercussions néfastes sur la stabilité de l'ouvrage.

Les désordres énumérés ont certes une ampleur limitée et demandent par conséquent des actions ponctuelles. Le principe général doit prendre en compte la nature sensible du sol à l'eau et le problème des eaux de ruissellement quelque soit son origine (pluies, ruissèlement, fuites d'eau diverses).

Pour y remédier plusieurs solutions sont proposées :

- Le système de drainage est indispensable afin d'évité l'infiltration des eaux de pluies aux sols d'assises.
- L'éloignement des plantations et des arbres à une certaine servitude est recommander afin d'éviter l'incidence des racines sur les fondations en profondeur. Le débroussaillage et le traitement des terrains nus en espaces verts sont vivement recommandés.
- L'affaissement des dallages en béton s'explique en partie par sa construction sur terre-plein. Les règles de l'art exigent que les éléments soient posés soit sur une longrine ou une dalle pleine à un ancrage suffisant en termes de profondeur.

Conclusion générale

Le cas pathologique objet de cette étude est un exemple illustratif des pathologies liées au comportement du sol sensible à l'eau. Cette étude est fructueuse en ce sens qu'elle a permis de mettre en pratique et approfondir les connaissances théoriques acquises tout au long du cursus d'étude de la spécialité géotechnique (mécanique des sol, compagne géotechnique, projets de réhabilitation). Le domaine de la mécanique des sols est très vaste voire complexe mais reste la base en génie civil et l'art de l'ingénieur. Tout comme, la résistance des matériaux dont les notions de base et leur maîtrise fait en sorte que le retrait ou la dilatation des maçonneries, des planchers et des murs ne génèrent pas des tensions excessives responsables des fissures parfois difficiles à réparer.

Aussi, pour une meilleure compréhension des problèmes de pathologie des ouvrages de génie civil, les études d'expertise et d'investigation permettent de mesurer l'ampleur et l'étendu du phénomène des pathologies liées au comportement des sols. Aussi, un bon diagnostic reste la condition *sine qua non* pour un bon plan d'intervention et de réhabilitation orientés par des études de détail de mise en œuvre.

Cette étude illustre bien un exemple de l'action des eaux d'infiltration comme moteur de mouvement vertical du sol. Les eaux accidentelles est de ce point de vue déterminant comme cause principale et directe des pathologies de fondations et les désordres qui s'en résultent. Le sol d'ancrage des fondations de l'ouvrage expertisé dans le cadre de cette étude est une couche de calcaire-marneux en outre surélevée par une couche de remblai de 1,5 et 2 mètres d'épaisseur. C'est un type d'argile sensible à l'eau et fortement compressible avec un potentiel de gonflement qualifié de moyen à élevé.

L'essentiel dans ce cas était donc d'éviter l'arrivée accidentelle des eaux de ruissellement et la plastification de la couche d'assise constituée de calcaire-marneux. La conception d'un système drainage en fonction de la configuration topographique du site et la mise en place d'un revêtement étanche sur le sol de la cour auraient empêché le phénomène d'infiltration des eaux de pluies jusqu'aux fondations.

Certes, les désordres observés ont une ampleur limitée et l'ouvrage ne nécessite donc pas un confortement ou un renforcement quelconque. Mais à long terme l'ouvrage peut subir des effets d'un tassement progressif de grande amplitude si des mesures de réparation ne seront pas envisagées à court terme. Les réparations proposées dans le cadre de cette étude sont des solutions techniques qui doivent faire l'objet d'étude de mise en œuvre conformément aux dispositions et normes

édictees dans les documents techniques unifiés (DTU). Enfin, la protection des fondations contre les arrivées accidentelles des eaux de ruissellement reste une mesure indispensable pour la stabilité et la durabilité de l'ouvrage.

Bibliographie sélective

- [1] **A.N.R.H. (Agence Nationale des ressources hydraulique)**., Synthèses Hydrogéologique de la région de Saïda. Rapport, 2008, Direction régionale de Saïda.
- [2] **BELHAMDI. N.**, Diagnostic et techniques d'auscultation des ouvrages projet de fin d'étude option génie civil, Université A.MIRA de Bejaia. Cité par Bouzid Ibrahim khalil & Dani Fadila, Expertise d'un cas pathologique à la ville de Saïda, mémoire de fin d'étude de master en génie civil, option CCI, université de Saïda, 2017.
- [3] **BIGOTGET C.**, « les reconnaissances des sols pour les bâtiments », *bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, direction régionale de l'équipement de l'île de France* 1990.
- [4] **CAMBEFOR.H.**, *Géotechnique de l'ingénieur et reconnaissance des sols*. Eyrolles éditeur, Paris, 1972. 345 pages.
- [5] **CHARRUE. B, FREDET. J, COUTÉ. P.**, *Le guide du diagnostic des structures*, chez Moniteur, édition Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat, 2004, 759 pages.
- [6] **FOUCAULT. A, RAOULT. J-F, CECCA. F, PLATEVOET. B.**, *Dictionnaire de géologie*, 8^e édition, Hors collection, Dunod, 2014, 416 p.
- [7] **GUYOT. G.**, Climatologie de l'environnement. De la plante à l'écosystème. Ed. Masson, Paris, 1997, 505 P.
- [8] **KERRACHE G.**, 2011). 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, 2011, université de Aboubekr Belkaid Tlemcen, Algérie
- [9] **LAMY S-A**. Expertise bâtiment construction. *En ligne* : <http://www.lamy-expertise.fr>.
- [10] **LOGEAIS L.**, *La pathologie des fondations : causes des désordres et remèdes*, éditions du Moniteur technique, Paris 1985, 158 pages.
- [11] **LYALL. A.**, *Le défaut de la construction. Prévention, diagnostic et remèdes des principales pathologies de la construction*, Collection : Droit/Economie, De Boeck Édition, 1993, 216 pages.
- [12] **MAGNAN. J-P, (2000)** *Déformabilité des sols Tassements Consolidation*, en ligne : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/geotechnique-42238210/deformabilite-des-sols-tassements-consolidation-c214/presentation-c214niv10001.html>.
- [13] **MERLER. J-D.**, Maçonnerie-pathologie, en ligne : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/pathologie-generale-pathologie-du-beton-42240210/maconnerie-c2105/>.
- [14] **OBSIR. I, HMEDI. C.** *Dégradation du bâtiment en béton armé contexte développement durable*. Cité par Bouzid Ibrahim khalil & Dani Fadila, Expertise d'un cas pathologique à la ville de Saïda, mémoire de fin d'étude de master en génie civil, option CCI, université de Saïda, 2017.

[15] **OUMAZIZ. R.**, *Introduction à l'analyse et au diagnostic du bâti existant*. Centre, Organisme de contrôle technique du centre (C.T.C), Alger, 2006, 81 pages.

[16] **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.

[17] **SOUKANE. S & DALHI. M**. Préservation du patrimoine colonial habitat du 19ème 20ème siècle : présentation d'un guide technique de réhabilitation, en ligne : <https://dl.ummto.dz/handle/ummto/840>.

[18] **SEMCHA. A, BENHAMOU. Y, AMEUR. M, MEKERTA. B, KAZI-AOUAL. F & SADOK. A.**, 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.

[19] **Tesari. I, Mattheck. C, & Bethge. K.**, Roots and buildings, Transactions on the Built Environment vol 66, 2003 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3509.

Site internet :

[20] www.detomasi.ch/ électro-osmose_batiment #htm.

Liste des tableaux

Tableau n° 01 : cumuls mensuels des précipitations (mm) ,2000-2010	59
Tableau n° 02 : Moyenne mensuelle des températures en C°, (1990-2010)	59
Tableau n° 03 : Pluviométrie mensuelle moyenne	60
Tableau n° 04 : Classification des climats selon l'indice d'aridité	61
Tableau n° 05 : description lithologique du sol	61
Tableau n° 06 : Caractéristique du pénétromètre MEDITOL	63
Tableau n° 07 : Résultats des essais de granulométrie	66
Tableau n° 08 : Résultats des essais des limites d'aterberg.....	68
Tableau n° 09 : Composition chimique du sol	71
Tableau n° 10 : Résultats des essais oedométriques	73
Tableau n° 11 : Caractéristiques géotechniques des couches	75
Tableau n° 12 : Récapitulatif des résultats des tassements.....	75
Tableau n° 13 : Récapitulatif des résultats des tassements.....	75
Tableau n° 14 : Nombre de jours avec gelée,période 1990-2010	92
Tableau n°15 : Températures minimales absolue (en C°) ,1990-2010	93
Tableau n° 16 : Influence du système racinal des essences sur les consructions environnentes	101

Liste des figures

Figure 1 :l'acrotère s'est dilaté, la fissuration s'est ouverte à mi-longueur	12
Figure 2 :fissure dit de plancher qui ne compromet pas la solidité de l'ouvrage.....	13
Figure 3 :l'enduit a subi un retrait en exés.....	13
Figure 4 :fissures visibles dans l'angle des ouvertures.....	14
Figure 5 :le plancher des combles s'est dilaté et l'enduit s'est donc fissuré.....	14
Figure 6 : plan de situation du siège de CACOBATH.....	31
Figure 7 :plan de masse, source :permis de construire ;1972,archive wilaya de saida.....	32
Figure 8 :fissures en forme oblique occupant une bonne partie des murs intérieurs.....	35
Figure 9 :fissures diagonals,accompagnées d'éclatement de l'enduit.....	36
Figure 10 :fissures (horizontale,verticale) au droit de l'interface maçonnerie.....	36
Figure 11 :traces d'humidité et effritement du béton au niveau d'une longrine(s/sol).....	37
Figure 12 :fissures horizontales à la base des planchers bas et superieures.....	37
Figure 13 : double fissure (inclinée et droite) colmatée.....	38
Figure 14 :la réparation n'a pas résisté,la fissure est vivante mais d'apparencesant gravité.....	39
Figure 15 :éclatement de l'enduit au niveau du linteau de la fenêtre.....	39
Figure 16 :les fissures obliques interessent toute l'épaisseur de la paroi.....	40
Figure 17 :les fissures suivent la jonction des murs avec les éléments structuraux.....	41
Figure 18 :les fissures inclinées à 45°.....	41
Figure 19 :les fissures verticaes au niveau de l'interface maçonnerie et éléments structuraux.....	42
Figure 20 :fissures obliques au droit des angles des ouvertures et décollement des enduit.....	43
Figure 21 :gonflement et dégradation des carreaux de revêtement du planchers.....	44
Figure 22 :tassement et affaissement du dallage en béton.....	45
Figure 23 :obstruction du drain.....	45
Figure 24 :tassement sous dallage et busculement des escaliers.....	46
Figure 25 :éclament de la maçonnerie et effritement du béton de longrine.....	47
Figure 26 :fissures franche en plusieurs en droits de la cloture.....	47
Figure 27 :fissures en gradin intéressant toute la cloture.....	48
Figure 28 :profil topographique du site.....	51
Figure 29 :températures moyennes de la région de saida.....	53
Figure 30 :classification des sols selon les dimmensions des particules.....	57
Figure 31 :courbe granulométrique de l'échantillon(1).....	57
Figure 32 :courbe granulométrique de l'echantillon(2).....	58
Figure 33 :diagramme des limites conventionnnelles des sols.....	59
Figure 34 :limites d'aterberg de l'echantillon (1).....	60

Figure 35 :limites d'aterberg de l'échantillon (2)	61
Figure 36 :la classification GTR 92 utilisé dans les traveaux de terrassement.....	62
Figure 37 :carte des pentes ,URBAT,agence de SAIDA.....	72
Figure 38 :phénomène de retrait et de traces de ruissellement.,sous-sol.....	72
Figure 39 :remblai remanié soit par l'infiltration des eaux pluviale.....	73
Figure 40 :dégradation de l'étanchéité déversement des fuites d'eau	74
Figure 41 : tuyauterie défectueuses de la chaudière et écoulement d'eau dans le sous-sol.....	74
Figure 42 :obstruction des caniveaux à l'accès du sous-sol.....	75
Figure 43 :végétation abondante.....	76
Figure 44 :i'incidence des racines d'arbres sur l'effondrement d'un mur	76
Figure 45 :fondation insuffisamment supportée par le sol ,elle a fléchi.....	78
Figure 46 :décentes défectueuses laissant fuiter l'eau à travers le solin et les murs.....	84
Figure 47 : proposition d'aménagement d'un parking autos et espace vert,URBAT_SAIDA.....	86
Figure 48 : moyens de prévention.....	88

Annexes-1

 MINISTRE 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

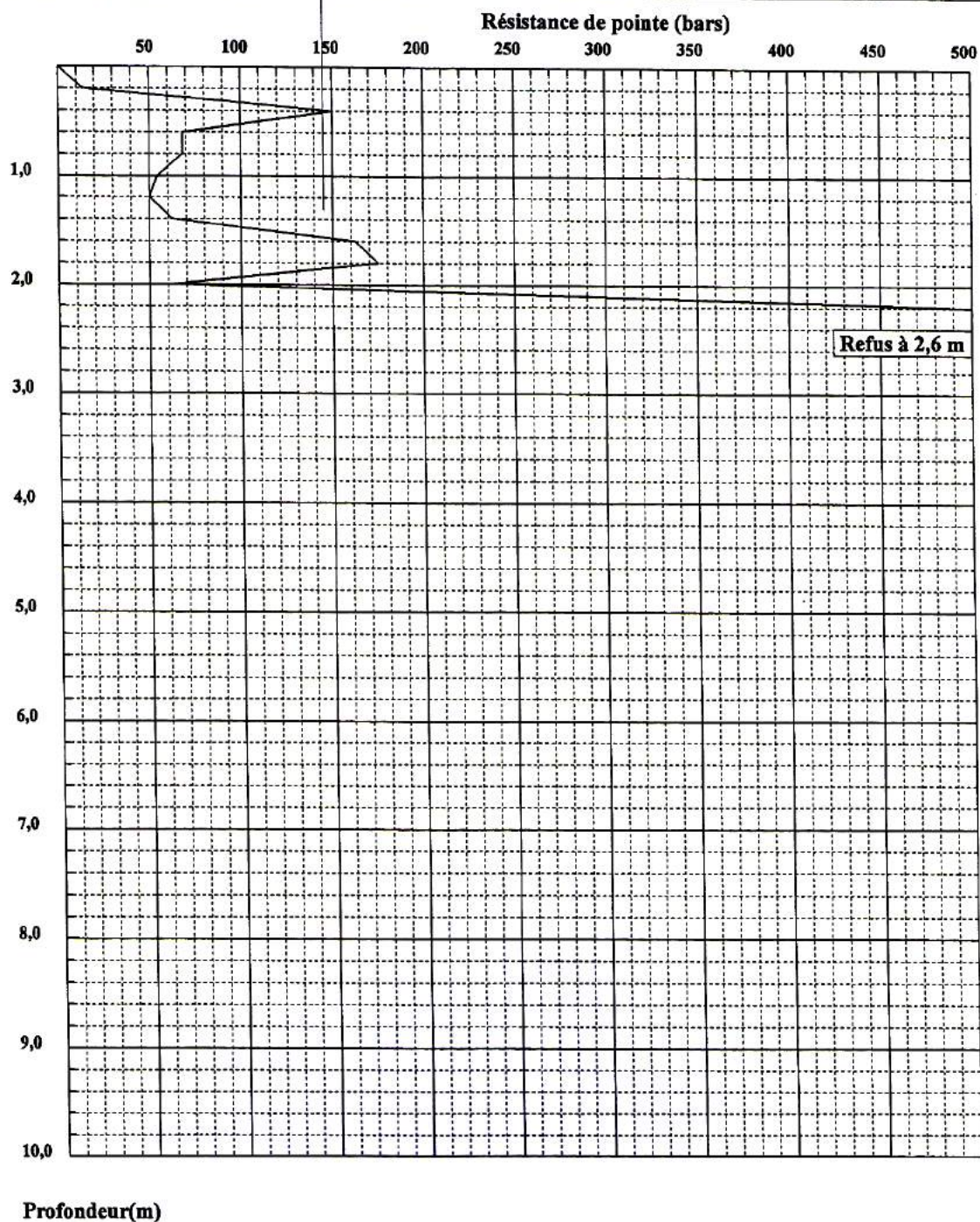
CACOBATPH SAIDA

DOSSIER N°41/110/2018
RAPPORT:095/ 2018
SEPTEMBRE 2018

INTITULE : SIEG CACOBATPH
LIEU : SAIDA
CLIENT : CACOBATPH SAIDA
DATE ESSAI :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

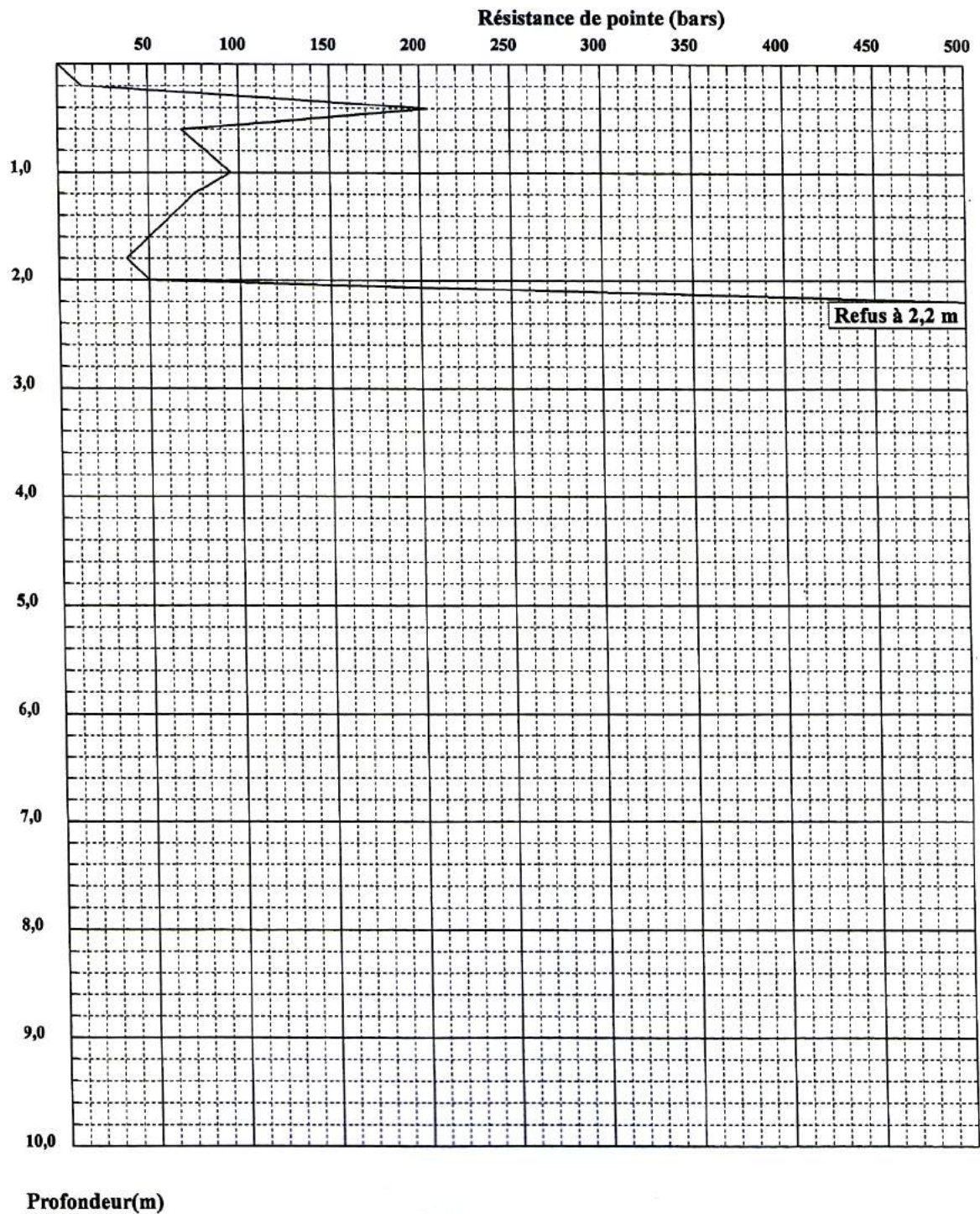
Essai N°: 01



INTITULE : SIEG CACOBATPH
LIEU : SAIDA
CLIENT : CACOBATPH SAIDA
DATE ESSAI :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

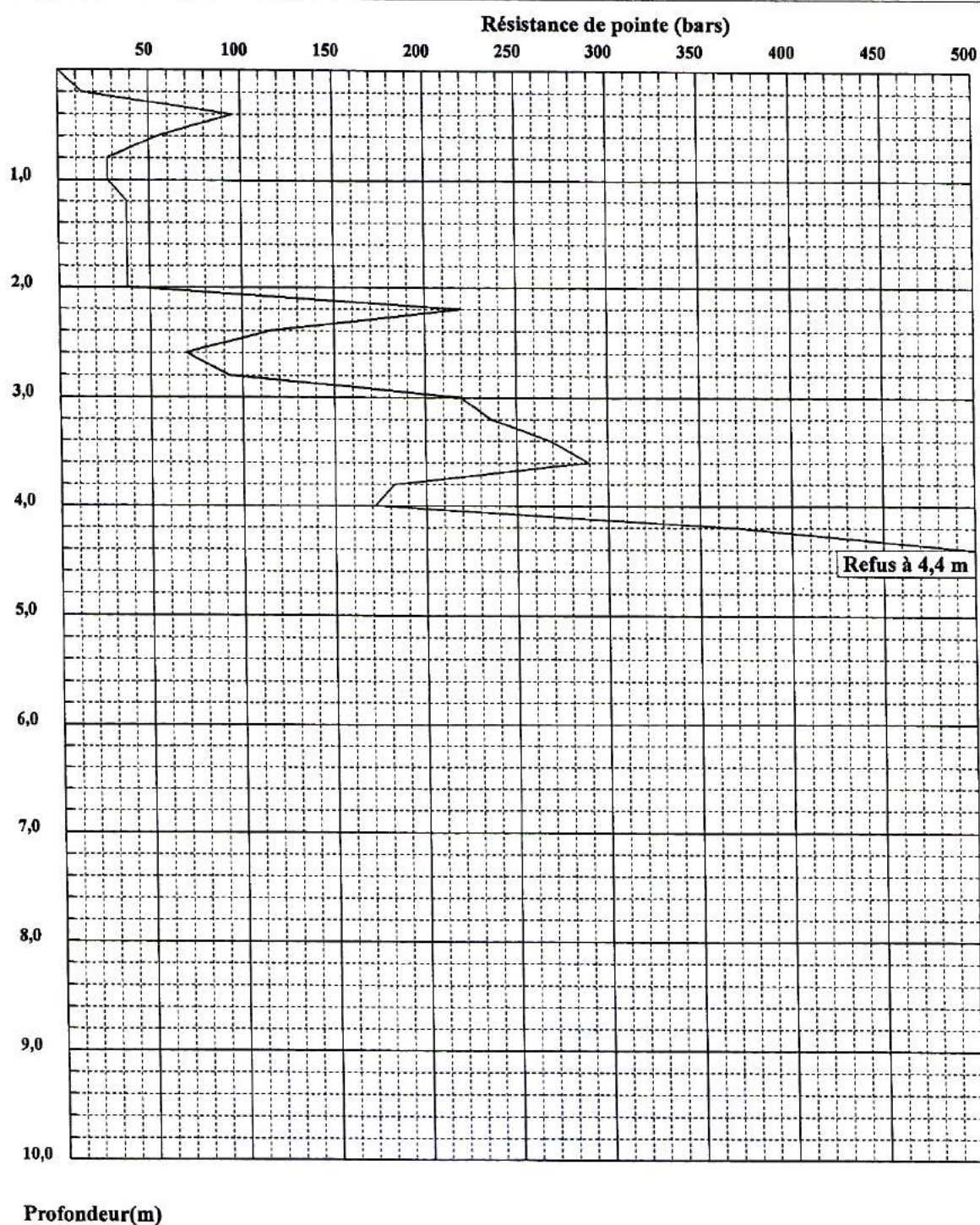
Essai N°: 02



INTITULE : SIEG CACOBATPH
LIEU : SAIDA
CLIENT : CACOBATPH SAIDA
DATE ESSAI :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

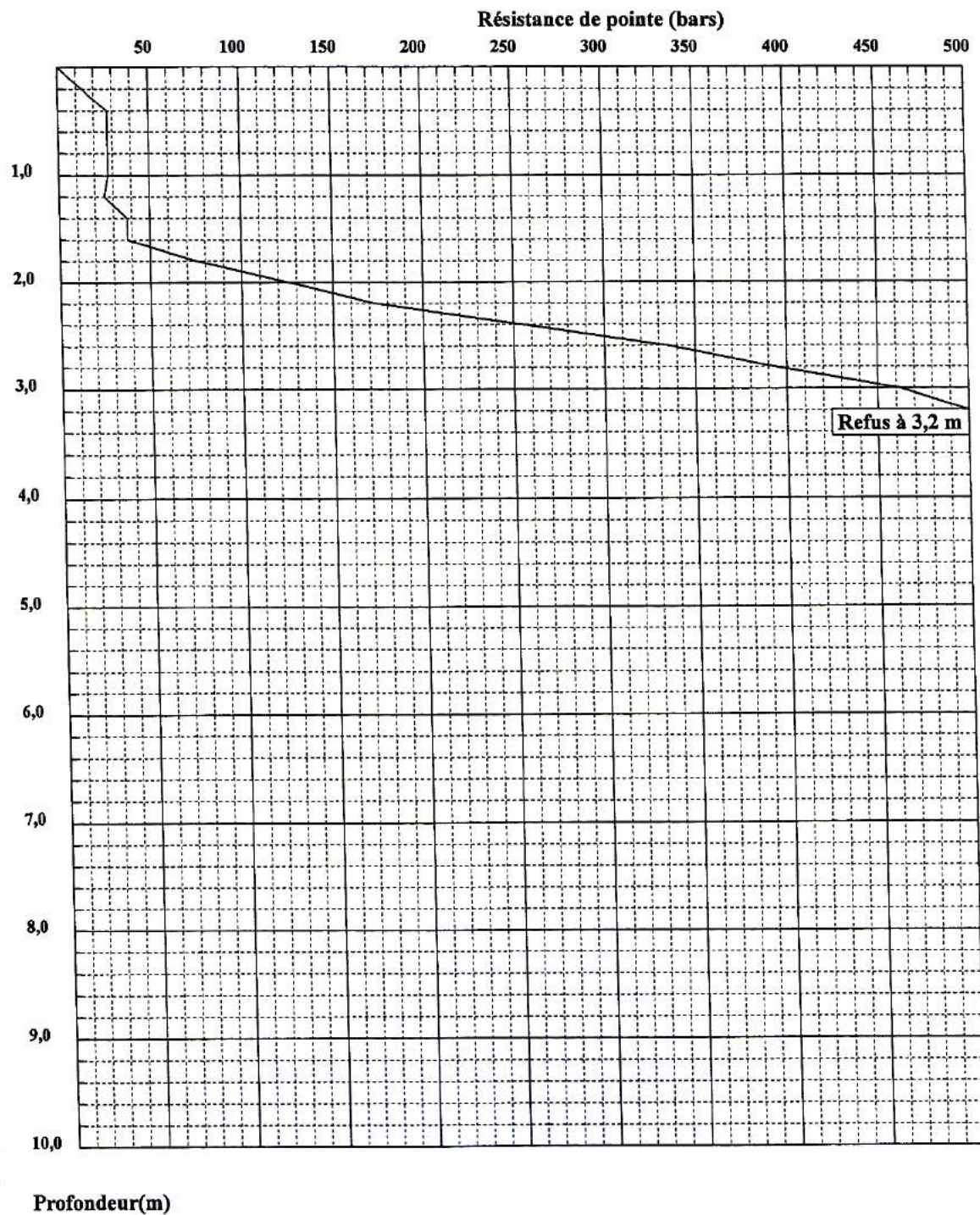
Essai N°: 03



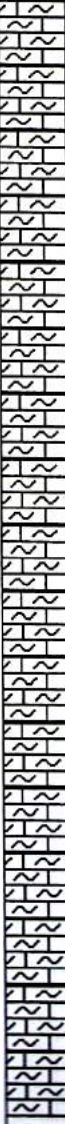
INTITULE : SIEG CACOBATPH
LIEU : SAIDA
CLIENT : CACOBATPH SAIDA
DATE ESSAI :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Essai N°: 04



ETUDE : SIEGE CACOBATPH SAIDA										Sondage N°: 01									
LIEU : SAIDA																			
CLIENT : CACOBATPH SAIDA																			
DATE DEBUT :										PROFONDEUR TOTALE : 10 ML									
DATE FIN :										COORDONNEES : X = Y =									
NIVEAU NAPPE : m										Z =									
										BOUE DE FORAGE :									
										TYPE FORAGE :									
										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 T/m³	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								

ETUDE : SIEGE CACORATPH SAIDA										Sondage N°: 02										
LIEU : SAIDA																				
CLIENT : CACORATPH SAIDA																				
DATE DEBUT :										PROFONDEUR TOTALE : 10 ML										
DATE FIN :										COORDONNEES : X = Y =										
NIVEAU NAPPE : m										Z =										
										BOUE DE FORAGE :										
										TYPE FORAGE :										
										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 T/m ³	I _p %	Class. LPC	Type Essai
	0	25	50	75	100															
0,5													Remblai							
1,0											2,00									
1,5													Calcaire marneux avec passage gréseux							
2,0																				
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						

Tableau récapitulatif des résultats des essais

Intitulé du projet		SIEGE CACOBAT A SAIDA	
N° Dossier		5356	
Sondage / Puits		SC01	SC02
Profondeur (m)		2.50-2.70	2.80-3.20
Densité sèche	γ_d (t/m ³)	1.83	
Teneur en eau pondérale	W (%)	15.6	
Degré de saturation	Sr (%)	88	
Densité humide	γ_h (t/m ³)	2.11	
Granulométrie (passant %)	5 mm (%)		
	2 mm (%)		
	0.08mm(%)		
Sédimentométrie	20 μ m (%)		
	2 μ m (%)		
Limites d'Atterberg	W _L (%)	51.09	49.98
	I _P	26.07	25.55
	W _p (%)	25.02	24.43
Indice de consistance	IC		
Équivalent de sable	E.S		
Poids spécifique	γ_s (t/m ³)		
Résultats oedométriques	P _c (Bar)	1.51	
	C _c	0.238	
	C _s	0.076	
Perméabilité	K (cm/s)		
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 (Mpa)		
Cisaillement rectiligne ou Triaxial	Type d'essai	CR/CU	CR/CU
	C (bar)	/	/
	ϕ (°)	/	/

Essai de tassement à l'oedomètre

Profondeur			
Description			
Type			
Hauteur initiale	L ₀	(mm)	20.0
Diamètre initial	D ₀	(mm)	70.0
Poids initial	W ₀	(gr)	120.0
Masse volumique	ρ ₀	(Mg/m ³)	1.56
Masse volumique des	ρ _s	(Mg/m ³)	2.65

Conditions initiales

Tassement	L _{IP}	(mm)	CH 3
Teneur en eau initiale	ω _i %	(%)	25.0
Densité sèche initiale	ρ _{di}	(Mg/m ³)	1.25
Indice des vides initial	e _i	.	1.125
Degré de saturation initial	S _i	(%)	58.9
Pression de Gonflement	S _s	(kPa)	0

Conditions finales

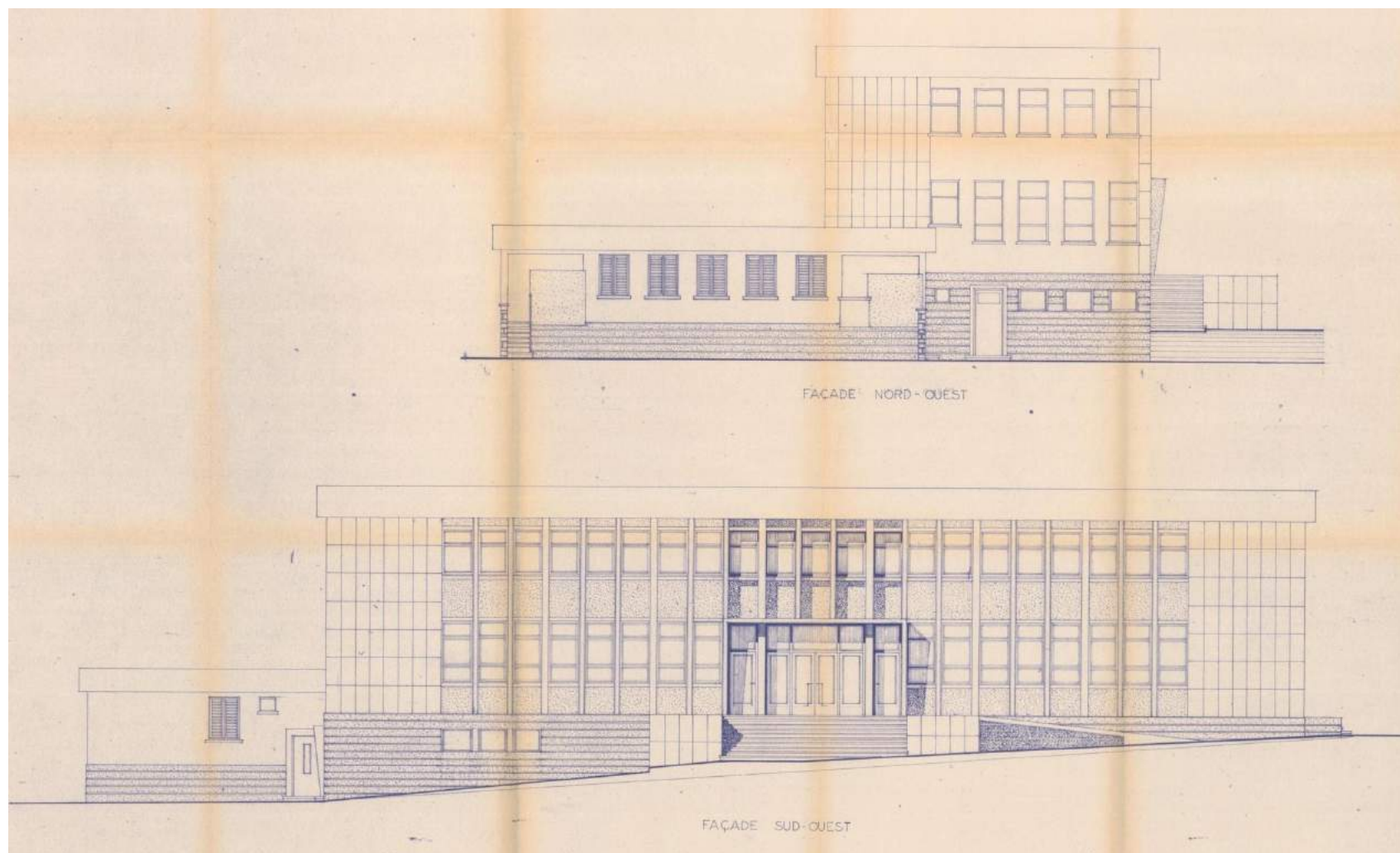
Teneur en eau finale	ω _f %	(%)	0.0
Masse volumique sèche finale	ρ _{df}	(Mg/m ³)	1.32
Indice des vides	e _f	.	1.005
Degré de saturation final	S _f	(%)	0
Tassement	ΔL _s	(mm)	1.129
Indice de Compression	C _c	.	0.238
Indice de recompression	C _s	.	0.076
Contrainte effective en place	σ' _{vo}	(kPa)	72
Indice des vides du sol en place	e _o	.	1.077
Contrainte effective de préconsolidation	σ' _p	(kPa)	151
Indice des vides de préconsolidation	e _p	.	1.077

Contrainte σ' _i (kPa)	Indice des e _f	Tassement ΔL _s (mm)	Consolidation C _v (m ² /an)	Compressibilité m _v (m ² /MN)	Température T _i (°C)	Température T _f (°C)	t ₅₀ t ₅₀ (min)	t ₉₀ t ₉₀ (min)	Compression C _{SEC} (m ² /MN)
6.25	1.125	-0.002	3.3	0.016	20.0	0.0	3.171		0.0087
12.5	1.133	-0.075	3.3	0.584	20.0	0.0	3.171		0.0087
25	1.136	-0.107	3.3	0.128	20.0	0.0	3.171		0.0087
50	1.103	0.200	3.3	0.611	20.0	0.0	3.171		0.0087
100	1.053	0.671	3.1	0.476	20.0	0.0	3.171		0.0087
200	0.995	1.222	3.0	0.285	20.0	0.0	3.171		0.0087
400	0.975	1.405	2.9	0.049	20.0	0.0	3.171		0.0087
800	0.905	2.072	2.7	0.090	20.0	0.0	3.171		0.0087
400	0.923	1.901			20.0	0.0			
100	0.930	1.833			20.0	0.0			
6.25	1.005	1.129			20.0	0.0			

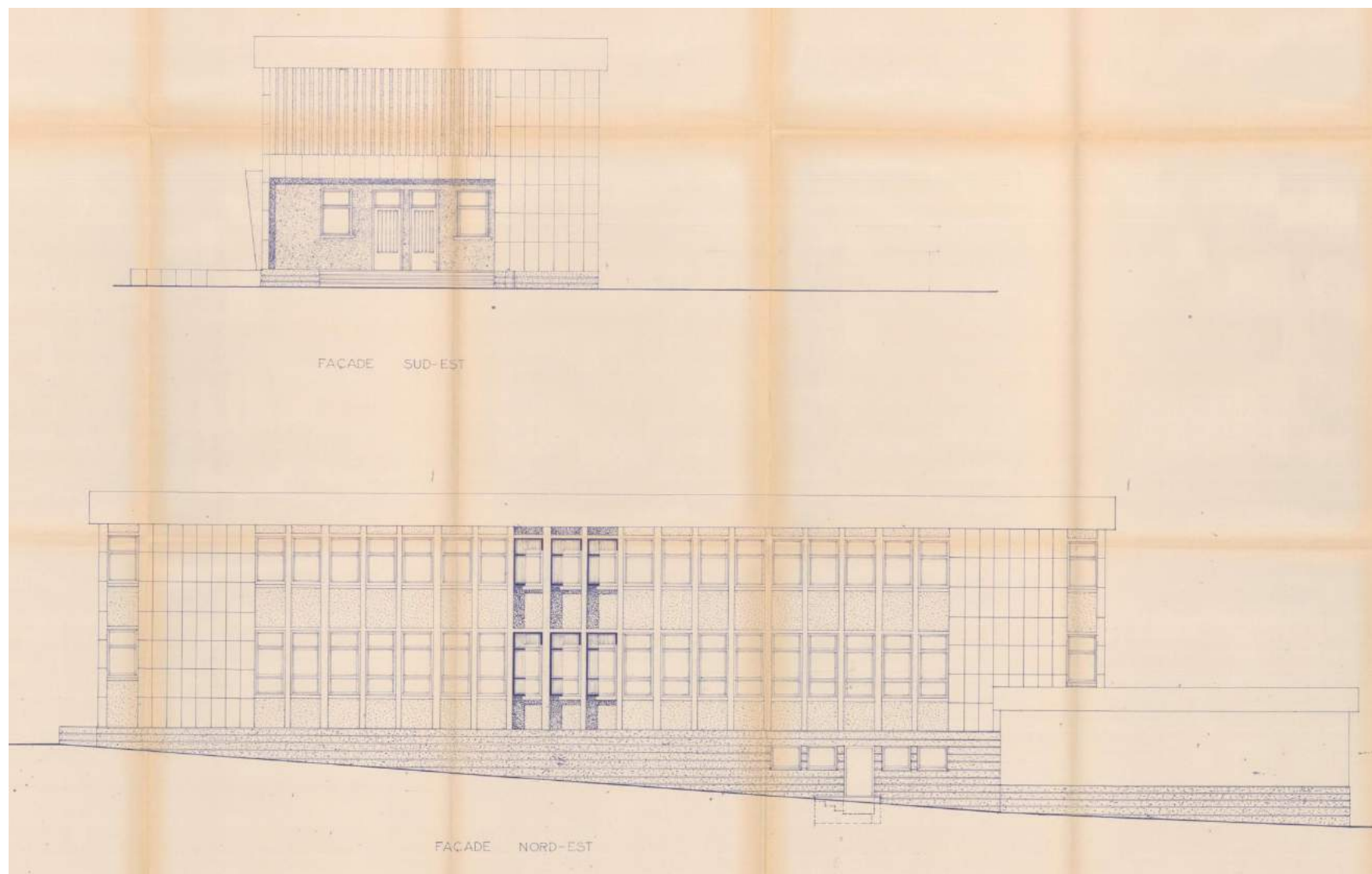
Notes

Méthode d'essai	XP P94-090-1	Nom de l'essai	OEDO 3 13.08.18
		Database:	.\SQLEXPRESS \ LHCO2014
Référence du site		Date de l'essai	14/08/2018
Fichier	SIEGE CACOBAT A SAIDA	Echantillon	2.50-2.70
&Client		Forage	S01
Opérateur	Vérifié *	Approuvé	*

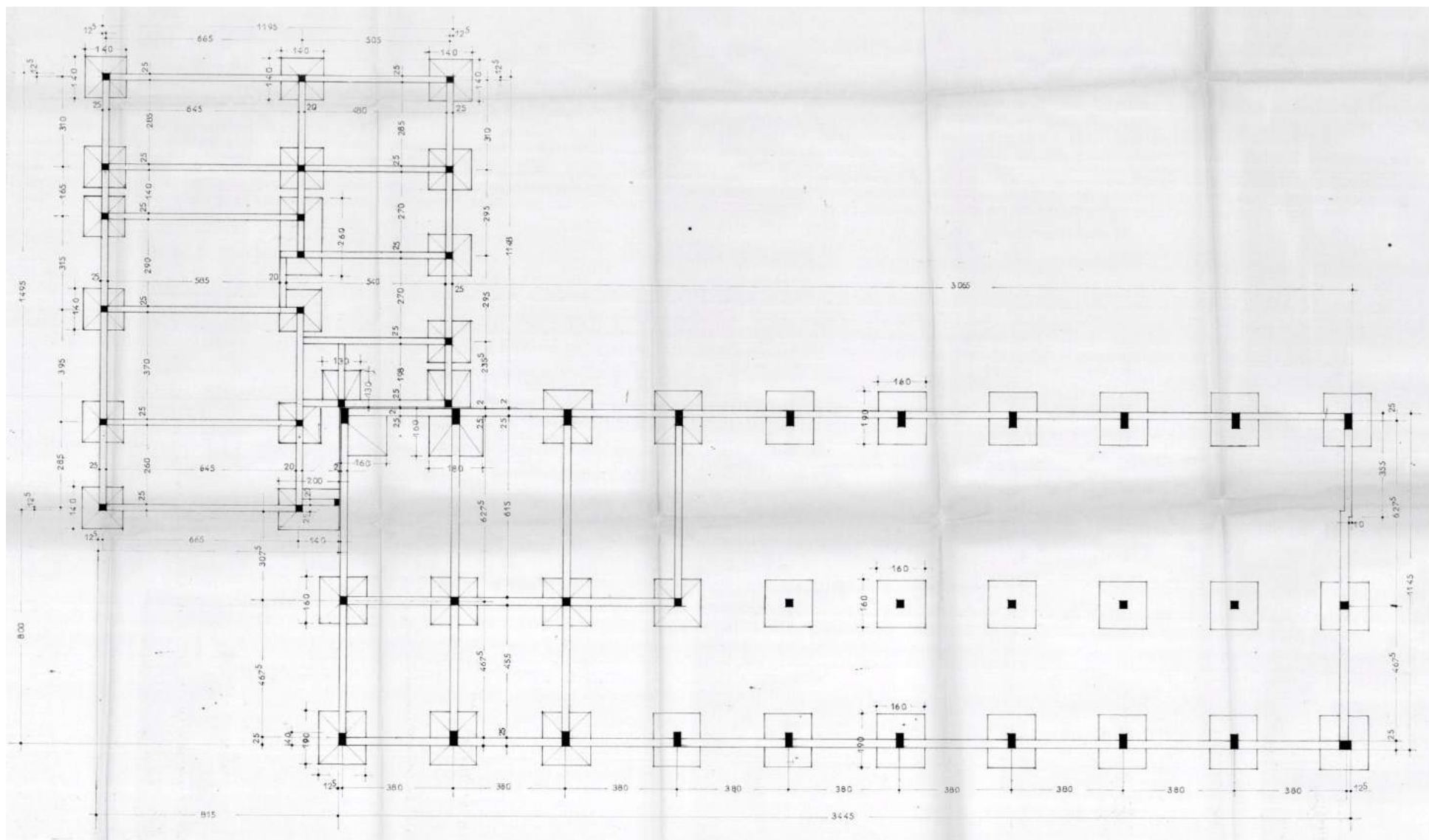
Annexes-2

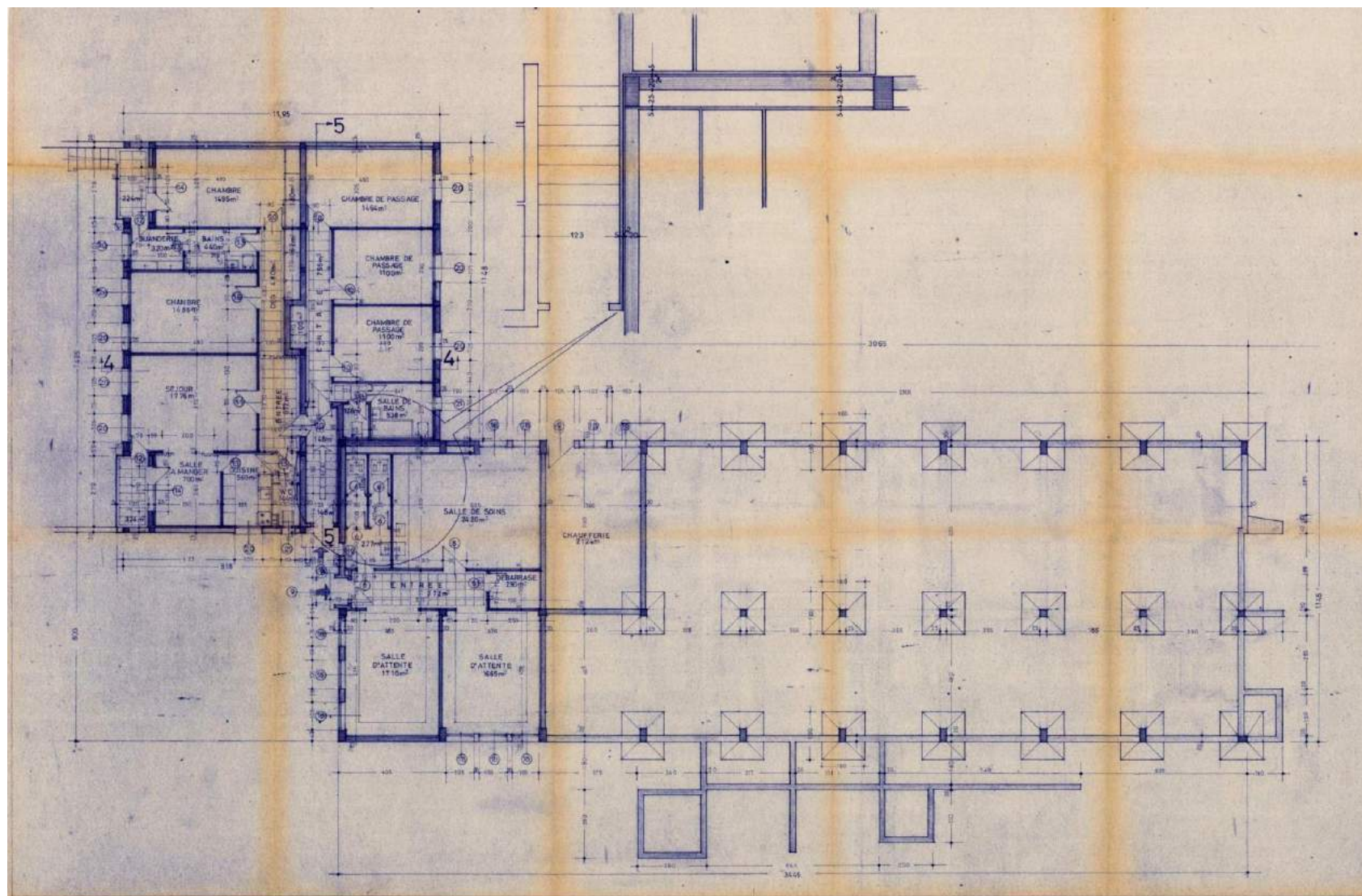


Façade principale

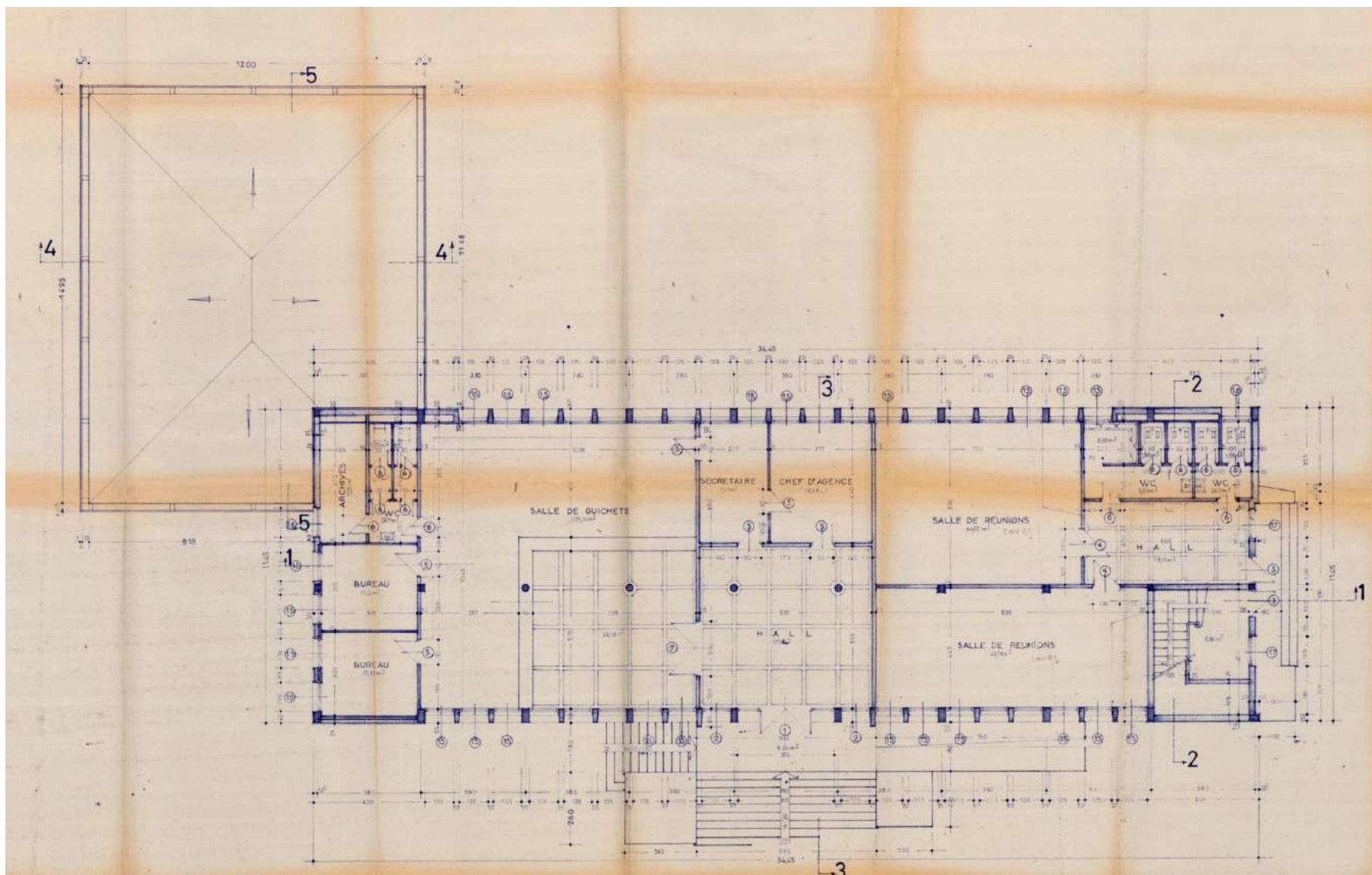


Façade arrière

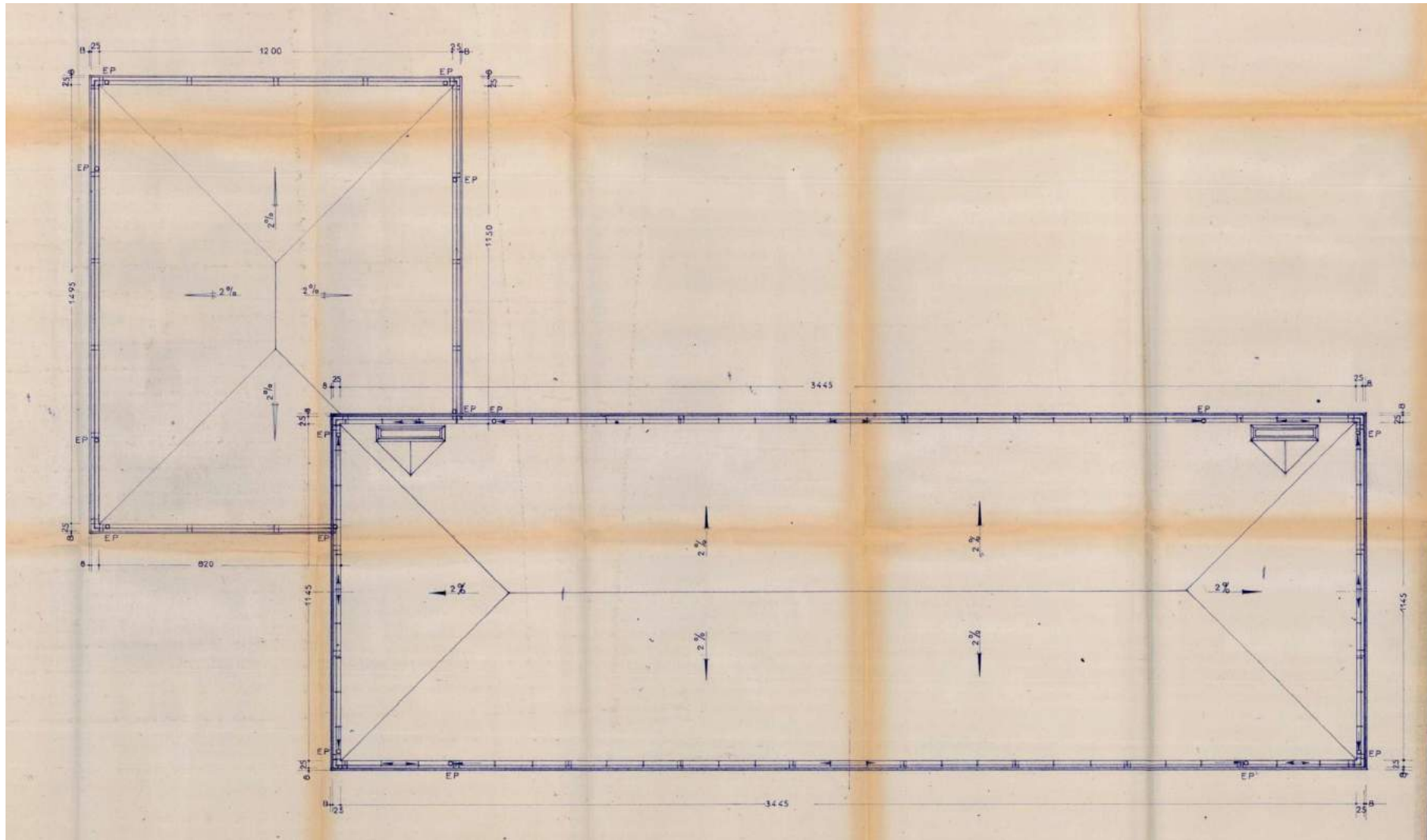




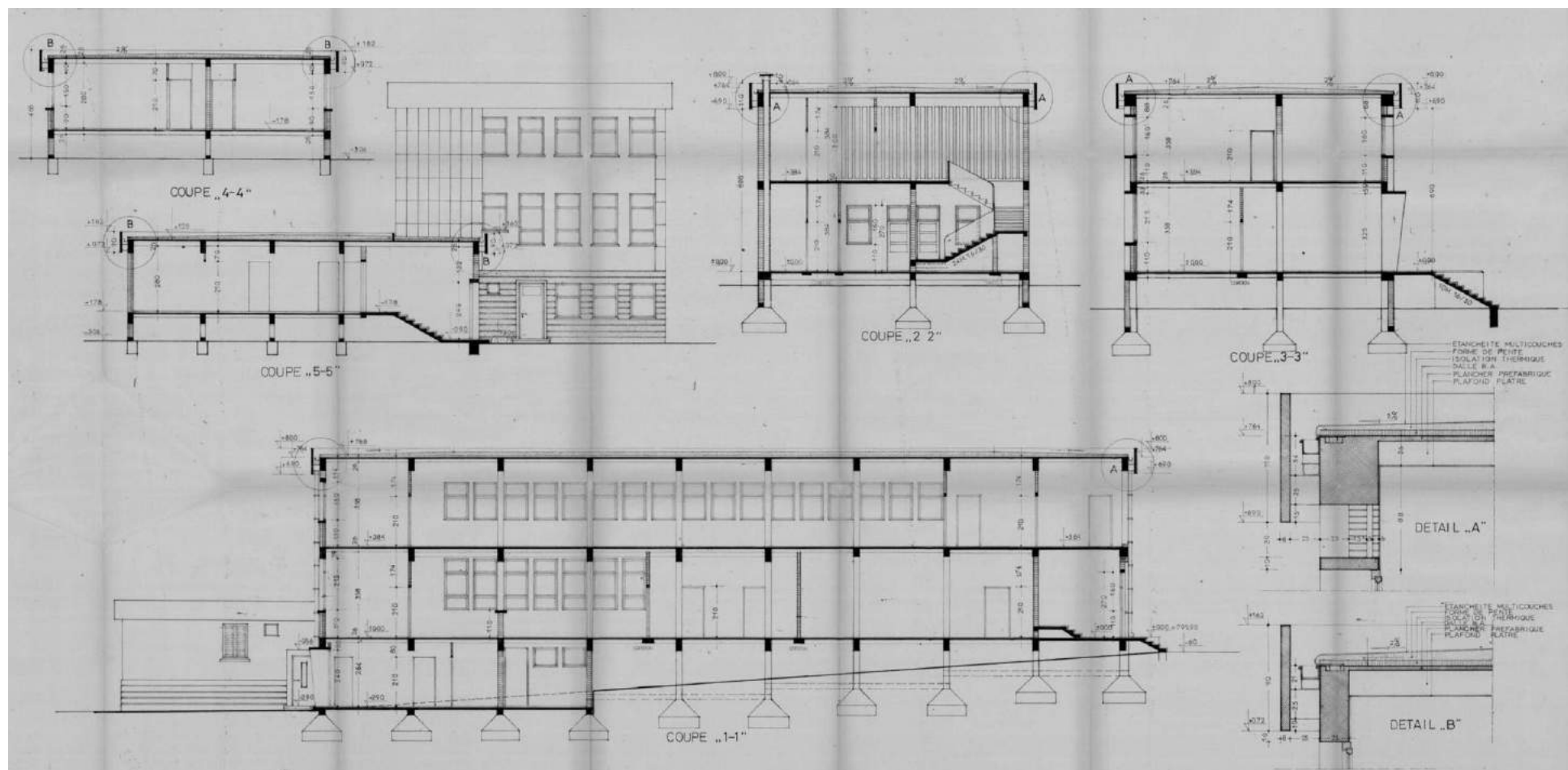
Plan du sous sol



Plan RDC



Plan terrasses



Plan des coupes

Table des matières

Sommaire.....	5
Introduction générale	6
Méthode de diagnostic.....	6
Chapitre I : Pathologies, investigations et diagnostic	8
Introduction.....	8
I-1- Pathologies des ouvrages.....	8
I-1-1- Les différentes causes des pathologies.....	9
I-1-1-1- Pathologies liés au béton armé.....	10
I-1-1-2- Pathologies liée à l'instabilité des sols.....	10
I-1-1-2-1- Tassement différentiel.....	10
I-1-1-2-2- Retrait et gonflement des argiles.....	11
I-1-1-2-3- Affaissement de terrain.....	11
I-1-1-3- Pathologies affectant la maçonnerie.....	11
I-1-1-3-1- Les fissures ou lézards d'inclinaison de 45° (Les fissures obliques).....	11
I-1-1-3-2- Les fissures et lézards horizontales ou verticales franches.....	12
I-1-1-3-3- Les microfissures ou fissures horizontales et verticale.....	13
I-1-1-3-4- Les fissures autour des ouvertures.....	13
I-1-1-3-5- Les microfissures ou fissures en forme d'hachures.....	14
I-1-1-3-6- Les fissures affectant les enduits ou revêtement minces.....	14
I-1-1-4- Caractères morphologiques d'une fissure.....	15
I-1-1-5- Evolution morphologique de la fissure dans le temps.....	17
I-1-1-5-1- Le rebouchage des fissures.....	18
I-2- Diagnostic et investigations.....	19
I-2-1- Critères de choix des investigations.....	20
I-2-1-1- Les besoins du gestionnaire.....	20
I-2-1-2- La fiabilité du dossier d'ouvrage.....	20
I-2-1-3- Le type d'ouvrage.....	21
I-2-1-4- L'environnement de l'ouvrage.....	21
I-2-1-5- La nature et l'ampleur des dégradations.....	22
I-2-2- Méthode de diagnostic.....	22
I-2-2-1- Visite préalable de l'ouvrage.....	22
I-2-2-2- Collecte de documents et d'informations.....	23
I-2-2-3- Bilan de l'état de l'ouvrage.....	23
I-2-2-4- Auscultations complémentaires sur l'ouvrage.....	23
I-2-2-5- Mise en place d'un plan d'investigation.....	24
I-2-2-5-1- Investigations in-situ et auscultations.....	24
I-2-2-6- Analyse.....	26
I-2-2-7- Conclusion et recommandations.....	27
I-2-2-8- Rapport d'expertise.....	28
Conclusion.....	28
Chapitre II : Etude de cas pathologique	30
Introduction.....	30
II-1- Description structurelle de l'ouvrage.....	31

II-1-1- Infrastructure.....	33
II-1-2- Superstructure.....	33
II-1-3- Fonctionnement.....	33
II-2- Nature et ampleur des désordres relevés.....	33
II-2-1- Les désordres de la maçonnerie.....	34
II-2-1-1- Au niveau du sous-sol.....	35
II-2-1-2- Façades.....	37
II-2-1-3- Fissures au niveau des murs intérieurs.....	40
II-2-2- Affaissement des dallages en béton.....	44
II-2-3- Risque de basculement du mur de clôture.....	46
Conclusion.....	48
Chapitre III : Campagne géotechnique	49
Introduction.....	49
III-1- Contexte topographique.....	50
III-2- Aperçus lithologique.....	50
III-3- Contexte climatique.....	52
III-4- Hydrogéologie.....	54
III-5- Caractéristiques géotechniques du sol.....	54
III-5-1- Les essais in situ.....	54
III-5-1-1- Essai de pénétration dynamique.....	54
III-5-2- Essais de laboratoire.....	55
III-5-2-1-Essais physiques.....	55
III-5-2-1-1- Granulométrie.....	56
III-5-2-1-2- Limites d’Atterberg.....	58
III-5-2-2- Essais chimiques.....	61
III-5-2-3- Classification des sols.....	62
III-5-2-3- Essais mécaniques..	63
III-5-2-3-1- Capacité portant du sol d'après les PDL.....	63
III-5-2-4- Essais oedométrique (NFP94-011)	64
III-5-2-4-1- Vérification des tassements d'après les essais œdométriques.....	65
III-5-2-5- Evaluer la sensibilité du sol aux variations de teneur en eau.....	66
Conclusion.....	67
Chapitre IV : Interprétation des désordres et remèdes possibles	69
Introduction.....	69
IV-1- Interprétation des causes probables des désordres.....	69
IV-1-1- Pathologies de fondation.....	70
IV-1-1-1- L’origine des eaux d’infiltration.....	70
IV-1-2- L'action de l'eau.....	76
IV-1-1- Tassements du sol d'assise.....	77
IV-2- Interprétation des résultats géotechniques.....	79
IV-2-1- La diminution de la force portante du sol cause du tassement.....	79
IV-2-2- le phénomène de retrait-gonflement.....	79
IV-2-3- Dégâts du gel.....	80
VI-3- Remdes et recommandations.....	82

VI-3-1- Précaution à prendre contre les eaux de ruissellement.....	82
VI-3-1-1- Réparation et adaptation du réseau de drainage existant.....	83
VI-3-1-2- Réparation du solin périphérique du bâtiment.....	83
VI-3-1-3- Réparation des conduites des eaux pluviales.....	84
VI-3-1-4- Réparation des conduits d'assainissement sous-terrain.....	85
VI-3-1-5- Réparation ou suppression des fuites d'eau.....	85
VI-3-2- Aménagement de parking et d'espaces verts.....	85
VI-3-3- Débroussaillage et suppression de plants aux effets nuisibles.....	87
VI-3-4- Réparation de la maçonnerie dégradée.....	88
VI-3-4-1- Remplacement de la partie endommagée.....	88
VI-3-4-2- Reprise de fissures.....	89
VI-3-4-3- Injections.....	89
Conclusion.....	90
Conclusion générale.....	92
Bibliographie sélective.....	94
Liste des tableaux.....	96
Liste des figures.....	97
Annexe-1.....	99
Annexe-1.....	108
Table des matières.....	116