

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2020



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع ...../2020

## Mémoire de Master

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème

**Diagnostic des ouvrages en béton armé :  
Cas du centre intensif des langues à l'université de Biskra**

Nom et Prénom de l'étudiant :  
Hamed Aboul kacem Moutie

Encadreur : Dr.TAALLAH.B

Année universitaire : 2019 - 2020

## Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH qui m'a donné le courage et la volonté de suivre la mémoire. Avant d'entrer dans le cœur du sujet

Je tiens à remercier le directeur de ce mémoire **Dr. TAALAH BACHIR**, qui a grandement apprécié son style de travail, la liberté qu'il m'a laissée en organisant et en encourageant cette recherche. Je voudrais également remercier les membres du jury qui ont accepté de revoir ce résumé.

Je voudrais dire merci beaucoup à tous ceux qui sont présents avec moi aujourd'hui

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien continu et ses encouragements, ainsi que tous ceux qui ont contribué à ce travail.

# Résumé

Le monde fait face à de sérieux problèmes de durabilité qui affecte un très grand nombre d'ouvrages en béton armé. Les désordres survenus au niveau des structures sont souvent dus aux dégradations des matériaux employés, ou au changement de fonctionnalité et le manque d'entretien. L'identification des causes des dégradations est une des étapes les plus importantes et les plus difficiles de tout le processus de réparation des structures endommagées. Donc, il faut faire un bon diagnostic des ouvrages, qui permet d'évaluer le degré de gravité des pathologies et de prendre la bonne décision concernant la réparation la plus adaptée aux ouvrages en question.

Le but de notre étude est la réalisation d'un diagnostic d'un ouvrage récemment réalisé et qui présente plusieurs défauts et dégradations qui menacent son bon fonctionnement et sa durabilité. Il s'agit du centre intensif des langues de l'université de Biskra. Les résultats du diagnostic de cet ouvrage ont révélé que les infiltrations des eaux dans le sol de fondation : eau usée, eau pluviale et eau d'arrosage, a engendré un tassement différentiel des fondations, qui a provoqué l'apparition d'un nombre important de fissures à caractère inquiétant dans les murs de certains locaux du centre, ainsi qu'un affaissement de 29 cm d'une partie d'un bloc de ce centre. En fin, quelques solutions ont été proposées pour la réparation des dégradations constatées.

**Mots clé :** Diagnostic ; béton armé ; désordres, contrôle non destructif, tassement

## المخلص

يواجه العالم إشكالات جدية تتعلق بالديمومة والتي تؤثر على عدد كبير جدًا من منشآت الخرسانة المسلحة. غالبًا ما تكون الاضطرابات الهيكلية ناتجة عن تدهور المواد المستخدمة ، أو تغيير في الوظائف ونقص الصيانة. يعتبر تحديد أسباب الضرر من أهم الخطوات وأكثرها صعوبة في مجمل عملية إصلاح الهياكل التالفة. لذلك يجب إجراء تشخيص جيد للهياكل يسمح بتقييم درجة خطورة التدهور واتخاذ القرار الصحيح بشأن الإصلاح الأكثر ملائمة للهياكل المعنية.

الهدف من دراستنا هو إجراء تشخيص لهيكل مكتمل حديثًا به العديد من العيوب والإهتراءات والتي تهدد أداءها السليم ومتانتها. ويتعلق الأمر بمركز تكثيف اللغات بجامعة بسكرة. إن نتائج التشخيص لهذا المنشأ بينت أن تسرب المياه إلى تربة الأساسات: المياه المستعملة و مياه الأمطار وكذا مياه السقي ، أدى إلى هبوط غير منتظم للأساسات من تسبب في ظهور عدد معتبر من الشقوق المقلقة في جدران بعض قاعات هذا المركز، و كذا حدوث هبوط بعمق 29 سم في جانب من أحد أجنحة هذا المركز. في الأخير تم تقديم بعض الحلول لإصلاح اللف المعايين

يعتبر تشخيص الهياكل التالفة إلزاميًا لأن الصيانة لا تبدأ بالإصلاح في المقام الأول. بالطبع، وعلى العكس من ذلك، فإن التشخيص الذي تم تطويره هو الذي يحدد، خطورة أو عدم خطورة تهديد من أمراض معينة ومن هذا القرار يتبعه هذا يؤدي إلى تدخل وإصلاح فوري أو على أبعد تقدير. أهداف التشخيص متعددة.

**الكلمات المفتاحية:** التشخيص؛ الخرسانة المسلحة؛ الاضطرابات ، الاختبارات غير التحطيمية ، الهبوط

# LISTE DES FIGURE

<b>Figure I-1</b> Représentation schématique des normes appliquées pour la durabilité des structures.....	5
<b>Figure I-2</b> Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages .....	6
<b>Figure I-3</b> Les dégradation et les défauts du béton armé.....	7
<b>Figure I-4</b> Différent types de retrait .....	8
<b>Figure I-5</b> Le mécanisme de dégradation par le gel dégel.....	9
<b>Figure I-6</b> Mécanisme d'un entraîneur d'air dans le béton.....	10
<b>Figure I-7</b> Sources de sulfates .....	10
<b>Figure I-8</b> Différents types d'ettringite .....	12
<b>Figure I-9</b> Mécanisme d'attaque sulfatique externe.....	12
<b>Figure I-10</b> Pathologie des pieux due à l'attaque sulfatique .....	13
<b>Figure I-11</b> Figure I 11Alcali réaction .....	13
<b>Figure I-12</b> Processus de la corrosion d'armature en acier.....	14
<b>Figure I-13</b> Fissuration du béton à cause de la corrosion.....	15
<b>Figure I-14</b> Dégradation liée à la corrosion d'armature .....	15
<b>Figure I-15</b> Processus de carbonatation.....	16
<b>Figure I-16</b> La pénétration de dioxyde de carbone(CO <sub>2</sub> ) dans les pores de béton. ....	17
<b>Figure I-17</b> Effet des chlorures.....	18
<b>Figure I-18</b> Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure .....	18
<b>Figure I-19</b> les charges transmet à la fondation dans un ouvrage .....	19
<b>Figure I-20</b> le phénomène d'affaissement et effondrement. ....	20
<b>Figure I-21</b> Schéma Explicatif des phénomènes de Tassement ( .....	21
<b>Figure I-22</b> Tassement uniformément réparti.....	21
<b>Figure I-23</b> Tassement différentiel.....	22
<b>Figure I-24</b> La différence de comportement des semelles.....	22
<b>Figure I-25</b> Phénomène de retrait-gonflement et ces conséquences sur les constructions .....	24
<b>Figure I-26</b> la construction est fissurée car les pieux d'angle n'ont pas atteint substratum rocheux ....	26

<b>Figure I-27</b> Dans ce cas, des tassements différentiels sont inévitables .....	27
<b>Figure I-28</b> Dans ce cas, des tassements différentiels sont peu probables .....	27
<b>Figure I-29</b> fissures dans les murs Bâtiment sur semelles isolées.....	27
<b>Figure I-30</b> fissures dans les murs Bâtiment sur Radier général.....	28
<b>Figure I-31</b> Formes et Directions de Fissuration.....	28
<b>Figure I-32</b> Fissures dans les murs au niveau de <b>la fenêtre</b> provoqués par des argiles gonflantes.....	29
<b>Figure I-33</b> Fissure sur <b>les murs</b> provoqués par des argiles gonflantes.....	29
<b>Figure I-34</b> Fissures <b>diagonales</b> provoqués par des argiles gonflantes .....	30
<b>Figure I-35</b> Dégradation de pont à cause de manque d'entretien .....	30
<b>Figure I-36</b> la ségrégation dans un élément de béton armé .....	31
<b>Figure II.A. 1</b> l'importance de surveillance et maintenance de la construction.....	35
<b>Figure II.A. 2</b> Schéma des étapes de diagnostic d'un ouvrage en béton armé.....	37
<b>Figure II.A. 3</b> Schéma du choix d'investigation .....	40
<b>Figure II.A. 4</b> Schéma des investigations non destructives.....	42
<b>Figure II.A. 5</b> Représentation schématique d'un scléromètre .....	43
<b>Figure II.A. 6</b> Exemple d'une auscultation par station totale et les différents prismes .....	44
<b>Figure II.A. 7</b> Fissuromètre.....	44
<b>Figure II.B. 1</b> Principaux facteurs contrôlant la durabilité des réparations. ....	48
<b>Figure II.B. 2</b> Renforcement au moyen de béton projeté.....	51
<b>Figure II.B. 3</b> techniques de projection,.....	51
<b>Figure II.B. 4</b> Réparation d'un mur en maçonnerie.....	52
<b>Figure III- 1</b> Plan des façades du centre sur le plan.....	59
<b>Figure III- 2</b> Plan de R.D.C et du 1 <sup>er</sup> étage .....	61
<b>Figure III- 3</b> plan d'infrastructure .....	62
<b>Figure III- 4</b> Le côté stable et le côté dégradé du centre.....	64
<b>Figure III- 5</b> Schéma des salles dégradées sur le plan du centre.....	68

# Liste des photos

<b>Photo III 1</b>	Le centre intensif des langues à l'université de Biskra .....	58
<b>Photo III 2</b>	Vue satellitaire sur le centre .....	59
<b>Photo III 3</b>	Façade principale.....	60
<b>Photo III 4</b>	La façade latérale .....	60
<b>Photo III 5</b>	Éclatement de mur en maçonnerie .....	64
<b>Photo III 6</b>	Des fissures inclinées sur les murs .....	65
<b>Photo III 7</b>	L'existence d'une fuite d'eau d'un robinet d'une citerne à côté du mur du centre.....	65
<b>Photo III 8</b>	L'existence d'une crevasse sous et à côté d'une conduite d'eau pluviale, qui reçoit couramment des fuites d'eau d'une citerne à la terrasse du centre .....	66
<b>Photo III 9</b>	Dégradation d'un regard des eaux usées et même la conduite branchée aux toilettes du centre .....	66
<b>Photo III 10</b>	Apparition de végétations (indice de longue période d'infiltration d'eau) .....	67
<b>Photo III 11</b>	Les racines des arbres et les plantes ont provoqués l'éclatement et gonflement des carrelages de trottoir .....	67
<b>Photo III 12</b>	Décollement de l'enduit et éclatement d'une partie d'un mur dû à un tassement différentiel .....	68
<b>Photo III 13</b>	Fissure inclinée au niveau d'un mur cloison. ....	69
<b>Photo III 14</b>	Fissuration verticale au niveau des murs cloisons provoquant leur décollement du poteau .....	69
<b>Photo III 15</b>	Fissure verticale au niveau d'un mur en brique (Longues lézardes) .....	70
<b>Photo III 16</b>	La fissuration a pu apparaitre même à travers le revêtement en céramique, ce qui confirme l'impact du tassement différentiel. ....	70
<b>Photo III 17</b>	Détérioration des murs en maçonnerie dans la salle d'internet .....	71
<b>Photo III 18</b>	Détérioration des cloisons du Hall .....	71
<b>Photo III 19</b>	La structure porteuse, jusqu'à maintenant reste non dégradée .....	72
<b>Photo III 20</b>	l'opération de relevé topographique .....	73

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> Principes et méthodes de réparation applicables aux matériaux de réparation.....	53
<b>Tableau 2</b> Les résultats de relevé topographique .....	73



# Résumé

Le monde fait face à de sérieux problèmes de durabilité qui affecte un très grand nombre d'ouvrages en béton armé. Les désordres survenus au niveau des structures sont souvent dus aux dégradations des matériaux employés, ou au changement de fonctionnalité et le manque d'entretien. L'identification des causes des dégradations est une des étapes les plus importantes et les plus difficiles de tout le processus de réparation des structures endommagées. Donc, il faut faire un bon diagnostic des ouvrages, qui permet d'évaluer le degré de gravité des pathologies et de prendre la bonne décision concernant la réparation la plus adaptée aux ouvrages en question.

Le but de notre étude est la réalisation d'un diagnostic d'un ouvrage récemment réalisé et qui présente plusieurs défauts et dégradations qui menacent son bon fonctionnement et sa durabilité. Il s'agit du centre intensif des langues de l'université de Biskra. Les résultats du diagnostic de cet ouvrage ont révélé que les infiltrations des eaux dans le sol de fondation : eau usée, eau pluviale et eau d'arrosage, a engendré un tassement différentiel des fondations, qui a provoqué l'apparition d'un nombre important de fissures à caractère inquiétant dans les murs de certains locaux du centre, ainsi qu'un affaissement de 29 cm d'une partie d'un bloc de ce centre. En fin, quelques solutions ont été proposées pour la réparation des dégradations constatées.

**Mots clé :** Diagnostic ; béton armé ; désordres, contrôle non destructif, tassement

## المخلص

يواجه العالم إشكالات جدية تتعلق بالديمومة والتي تؤثر على عدد كبير جداً من منشآت الخرسانة المسلحة. غالباً ما تكون الاضطرابات الهيكلية ناتجة عن تدهور المواد المستخدمة ، أو تغيير في الوظائف ونقص الصيانة. يعتبر تحديد أسباب الضرر من أهم الخطوات وأكثرها صعوبة في مجمل عملية إصلاح الهياكل التالفة. لذلك يجب إجراء تشخيص جيد للهياكل يسمح بتقييم درجة خطورة التدهور واتخاذ القرار الصحيح بشأن الإصلاح الأكثر ملائمة للهياكل المعنية.

يعتبر تشخيص الهياكل التالفة إلزامياً لأن الصيانة لا تبدأ بالإصلاح في المقام الأول. بالطبع، وعلى العكس من ذلك، فإن التشخيص الذي تم تطويره هو الذي يحدد، خطورة أو عدم خطورة تهديد من أمراض معينة ومن هذا القرار يتبعه هذا يؤدي إلى تدخل وإصلاح فوري أو على أبعد تقدير. أهداف التشخيص متعددة.

الهدف من دراستنا هو إجراء تشخيص لهيكل مكتمل حديثاً به العديد من العيوب والإهتراءات والتي تهدد أداءها السليم ومتانتها. ويتعلق الأمر بمركز تكثيف اللغات بجامعة بسكرة. إن نتائج التشخيص لهذا المنشأ بينت أن تسرب المياه إلى تربة الأساسات: المياه المستعملة و مياه الأمطار وكذا مياه السقي ، أدى إلى هبوط غير منتظم للأساسات من تسبب في ظهور عدد معتبر من الشقوق المقلقة في جدران بعض قاعات هذا المركز، وكذا حدوث هبوط بعمق 29 سم في جانب من أحد أجنحة هذا المركز. في الأخير تم تقديم بعض الحلول لإصلاح اللف المعاین

**الكلمات المفتاحية:** التشخيص؛ الخرسانة المسلحة؛ الاضطرابات ، الاختبارات غير التحطيمية ، الهبوط

# Tableau de matière

REMERCIEMENTS .....	i
RESUME.....	ii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES PHOTOS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
Introduction générale .....	1

## Chapitre I : Les notions de dégradation des ouvrages

I. Les notions de dégradation des ouvrages.....	4
I.1 Introduction .....	4
I.2 Définition de la durabilité du béton.....	4
I.3 Les indicateurs de durabilité de béton .....	5
I.4 Les pathologies et les causes de dégradation du béton armé .....	6
I.4.1 Définition dégradation du béton .....	6
I.5 Dégradation physiques .....	7
I.5.1 Retrait .....	7
I.5.2 Gel-dégel .....	8
I.6 Dégradations chimiques .....	10
I.6.1 Réactions et attaques sulfatiques .....	10
I.6.2 La réaction alcali granulat RAG .....	13
I.6.3 La corrosion des armatures .....	14
I.6.4 Carbonatation.....	16
I.6.5 Les ions de chlorures .....	17
I.7 Dégradation mécanique - Mouvement (Tassement) .....	19
I.7.1 Définition de mouvements de sol .....	19
I.7.2 La classification des mouvements de sol.....	19
I.7.3 Types de mouvement de sol .....	20
I.7.4 L'affaissement .....	20
I.7.5 Tassement .....	21
I.7.6 Origines et causes du tassement du sol.....	23
I.7.7 Les pathologies dus aux sols gonflant (phénomène de retrait-gonflement) : .....	23
I.7.8 Causes ayant rapport avec la reconnaissance du sol de fondation.....	25
I.8 Autres cause de dégradation liés à la conception .....	30
I.8.1 Manque d'entretien.....	30

I.8.2 Défauts de mise en œuvre.....	31
I.8.3 Propriétés du béton et des matériaux .....	31
I.9 Conclusion.....	33
<b>Chapitre II : Procédé de diagnostic et Technique de réparation et renforcement</b>	
II.A. Procédés du diagnostic .....	35
II.A.1 Introduction.....	35
II.A.2. Diagnostic .....	36
II.A.3. Le processus de diagnostic d'un ouvrage .....	37
II.A.4. Les principales étapes d'un diagnostic.....	37
II.A.4.1. Dossier de documentation sur l'ouvrage.....	38
II.A.4.2. Analyse des conditions de service.....	38
II.A.4.3. Visite du site.....	38
II.A.4.4. Évaluation détaillée .....	39
II.A.4.5. Évaluation des données recueillies.....	39
II.A.5. Rapport d'un diagnostic .....	39
II.A.6. Choix des investigations .....	40
II.A.7. Type d'investigation .....	41
II.A.7.1. Méthodes et essais non destructifs (NDT) .....	42
A. Inspection visuelle : .....	42
B.L'auscultation sonique : .....	43
C.Essai sclérométrique.....	43
D.Lever Topographique (Suivi topographique) :.....	44
E.Pose de capteurs (fissuromètres) : .....	44
F.Échantillonnage du béton.....	45
II.A.7.2. Investigations destructives (Analyse en laboratoire).....	45
II.A.8.Conclusion .....	46
II.B. Techniques de réparation et de renforcement .....	47
II.B.1. Introduction .....	47
II.B.2. Principes de bases d'une réparation durable .....	48
II.B.2.1. Compatibilité chimique .....	48
II.B.2.2. Compatibilité électrochimique.....	48
II.B.2.3. Compatibilité dimensionnelle.....	49
II.B.3. Les matériaux de réparation .....	49
II.B.3.1. Mortier de ciment Portland.....	49
II.B.3.2. Mortiers époxydiques .....	49

II.B.3.3. Mortiers/coulis expansifs.....	49
II.B.3.4 Bétons conventionnels .....	50
II.B.3.5. Bétons et mortiers au latex .....	50
II.B.3.6. Béton projeté.....	51
II.B.5. Les principales techniques de réparation .....	52
II.B.5.1. Les traitements des fissures .....	54
II.B.6. Techniques de renforcement .....	55
II.B.6.1. Renforcement par addition de nouveaux éléments de construction : .....	55
II.B.6.2. Amélioration de la résistance de la section transversale des éléments constructifs .....	55
II.B.6.3. Renforcement par confinement : .....	55
II.B.6.4. Traitement de sol visant à : .....	55
II.B.7. Conclusion : .....	56

### **Chapitre III : Cas d'étude**

Expertise du centre intensif des langues à l'université de Biskra .....	58
III.1. Introduction .....	58
III.2. Présentation du projet .....	58
III.3. Description de l'ouvrage .....	59
III.4. Inspection de site et l'ouvrage .....	63
III.4.1. En surface : .....	63
III.4.2. Le sol d'assise .....	63
III.4.3. Inspection de l'ouvrage (visite de site).....	63
III.5. Désordres constatés .....	64
III.5.1. Désordres à l'extérieure du centre .....	64
.....	67
III.5.2. Désordres à l'intérieur du centre .....	68
III.6. Etat de lieu .....	72
III.6.1. Relevé topographique .....	72
III.6.2. Evaluation des dommages.....	74
III.7. Interprétations du phénomène lié à la fissuration .....	75
III.7.1 Nature des couches le terrain de fondation : .....	75
III.7.2 Effet d'infiltration d'eau .....	75
III.8. Solutions et mesures préventives.....	76
III.8.1 Les travaux l'assainissement.....	76
III.8.2 Les travaux concernant le sous-sol et les fondations .....	76

III.8.3 Les travaux pour la superstructure et les murs en maçonneries.....	76
III.9. Conclusion et recommandation .....	77
Conclusion Générale.....	78
Bibliographie.....	81

# LISTE DES FIGURE

<b>Figure I-1</b> Représentation schématique des normes appliquées pour la durabilité des structures.....	5
<b>Figure I-2</b> Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages .....	6
<b>Figure I-3</b> Les dégradation et les défauts du béton armé.....	7
<b>Figure I-4</b> Différent types de retrait .....	8
<b>Figure I-5</b> Le mécanisme de dégradation par le gel dégel.....	9
<b>Figure I-6</b> Mécanisme d'un entraîneur d'air dans le béton.....	10
<b>Figure I-7</b> Sources de sulfates .....	10
<b>Figure I-8</b> Différents types d'ettringite .....	12
<b>Figure I-9</b> Mécanisme d'attaque sulfatique externe.....	12
<b>Figure I-10</b> Pathologie des pieux due à l'attaque sulfatique .....	13
<b>Figure I-11</b> Figure I 11Alcali réaction .....	13
<b>Figure I-12</b> Processus de la corrosion d'armature en acier.....	14
<b>Figure I-13</b> Fissuration du béton à cause de la corrosion.....	15
<b>Figure I-14</b> Dégradation liée à la corrosion d'armature .....	15
<b>Figure I-15</b> Processus de carbonatation.....	16
<b>Figure I-16</b> La pénétration de dioxyde de carbone(CO <sub>2</sub> ) dans les pores de béton. ....	17
<b>Figure I-17</b> Effet des chlorures.....	18
<b>Figure I-18</b> Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure .....	18
<b>Figure I-19</b> les charges transmet à la fondation dans un ouvrage .....	19
<b>Figure I-20</b> le phénomène d'affaissement et effondrement. ....	20
<b>Figure I-21</b> Schéma Explicatif des phénomènes de Tassement ( .....	21
<b>Figure I-22</b> Tassement uniformément réparti.....	21
<b>Figure I-23</b> Tassement différentiel.....	22
<b>Figure I-24</b> La différence de comportement des semelles.....	22
<b>Figure I-25</b> Phénomène de retrait-gonflement et ces conséquences sur les constructions .....	24
<b>Figure I-26</b> la construction est fissurée car les pieux d'angle n'ont pas atteint substratum rocheux ....	26

<b>Figure I-27</b> Dans ce cas, des tassements différentiels sont inévitables .....	27
<b>Figure I-28</b> Dans ce cas, des tassements différentiels sont peu probables .....	27
<b>Figure I-29</b> fissures dans les murs Bâtiment sur semelles isolées.....	27
<b>Figure I-30</b> fissures dans les murs Bâtiment sur Radier général.....	28
<b>Figure I-31</b> Formes et Directions de Fissuration.....	28
<b>Figure I-32</b> Fissures dans les murs au niveau de <b>la fenêtre</b> provoqués par des argiles gonflantes.....	29
<b>Figure I-33</b> Fissure sur <b>les murs</b> provoqués par des argiles gonflantes.....	29
<b>Figure I-34</b> Fissures <b>diagonales</b> provoqués par des argiles gonflantes .....	30
<b>Figure I-35</b> Dégradation de pont à cause de manque d'entretien .....	30
<b>Figure I-36</b> la ségrégation dans un élément de béton armé .....	31
<b>Figure II.A. 1</b> l'importance de surveillance et maintenance de la construction.....	35
<b>Figure II.A. 2</b> Schéma des étapes de diagnostic d'un ouvrage en béton armé.....	37
<b>Figure II.A. 3</b> Schéma du choix d'investigation .....	40
<b>Figure II.A. 4</b> Schéma des investigations non destructives.....	42
<b>Figure II.A. 5</b> Représentation schématique d'un scléromètre .....	43
<b>Figure II.A. 6</b> Exemple d'une auscultation par station totale et les différents prismes .....	44
<b>Figure II.A. 7</b> Fissuromètre.....	44
<b>Figure II.B. 1</b> Principaux facteurs contrôlant la durabilité des réparations. ....	48
<b>Figure II.B. 2</b> Renforcement au moyen de béton projeté.....	51
<b>Figure II.B. 3</b> techniques de projection,.....	51
<b>Figure II.B. 4</b> Réparation d'un mur en maçonnerie.....	52
<b>Figure III- 1</b> Plan des façades du centre sur le plan.....	59
<b>Figure III- 2</b> Plan de R.D.C et du 1 <sup>er</sup> étage .....	61
<b>Figure III- 3</b> plan d'infrastructure .....	62
<b>Figure III- 4</b> Le côté stable et le côté dégradé du centre.....	64
<b>Figure III- 5</b> Schéma des salles dégradées sur le plan du centre.....	68



## Liste des photos

<b>Photo III 1</b> Le centre intensif des langues à l'université de Biskra .....	58
<b>Photo III 2</b> Vue satellitaire sur le centre .....	59
<b>Photo III 3</b> Façade principale.....	60
<b>Photo III 4</b> La façade latérale .....	60
<b>Photo III 5</b> Éclatement de mur en maçonnerie .....	64
<b>Photo III 6</b> Des fissures inclinées sur les murs.....	65
<b>Photo III 7</b> L'existence d'une fuite d'eau d'un robinet d'une citerne à côté du mur du centre. .....	65
<b>Photo III 8</b> L'existence d'une crevasse sous et à côté d'une conduite d'eau pluviale, qui reçoit couramment des fuites d'eau d'une citerne à la terrasse du centre .....	66
<b>Photo III 9</b> Dégradation d'un regard des eaux usées et même la conduite branchée aux toilettes du centre .....	66
<b>Photo III 10</b> Apparition de végétations (indice de longue période d'infiltration d'eau)..	67
<b>Photo III 11</b> Les racines des arbres et les plantes ont provoqués l'éclatement et gonflement des carrelages de trottoir .....	67
<b>Photo III 12</b> Décollement de l'enduit et éclatement d'une partie d'un mur dû à un tassement différentiel.....	68
<b>Photo III 13</b> Fissure inclinée au niveau d'un mur cloison. ....	69
<b>Photo III 14</b> Fissuration verticale au niveau des murs cloisons provoquant leur décollement du poteau .....	69
<b>Photo III 15</b> Fissure verticale au niveau d'un mur en brique (Longues lézardes) .....	70
<b>Photo III 16</b> La fissuration a pu apparaitre même à travers le revêtement en céramique, ce qui confirme l'impact du tassement différentiel. ....	70
<b>Photo III 17</b> Détérioration des murs en maçonnerie dans la salle d'internet .....	71
<b>Photo III 18</b> Détérioration des cloisons du Hall .....	71
<b>Photo III 19</b> La structure porteuse, jusqu'à maintenant reste non dégradée .....	72
<b>Photo III 20</b> l'opération de relevé topographique .....	73

## Liste des tableaux

**Tableau 1** Principes et méthodes de réparation applicables aux matériaux de réparation.....53

**Tableau 2** Les résultats de relevé topographique .....73

## **INTRODUCTION GENERALE**

Aujourd'hui, de nombreux ouvrages exposés aux diverses agressions ou sollicitations, car le béton durci comme tous les autres matériaux connaît de multiples altérations, qui diminuent leurs caractéristiques dans le temps. La pathologie qui affecte le béton, et surtout, celle qui est classée dangereuse sera la cause de sa détérioration si elle est ignorée.

Les causes des dégradations se distinguent selon leurs origines, à savoir des causes d'ordre chimique (carbonatation, corrosion...), d'ordre physique (cycle gel - dégel, action du retrait ...) et d'ordre mécanique (Surcharge, séisme, explosion, incendie...). D'autres défauts sont liés à la conception, les calculs et la mise en œuvre. D'où, la structure en béton armé n'est pas seulement menacée par les charges qui lui sont appliquées, mais aussi par l'environnement dans lequel elle est construite. En général, les dégradations peuvent varier d'une simple fissuration dormante, à un fait réel traduit par un effondrement partiel ou total de l'ouvrage.

En Algérie les dégradations qui affectent les constructions s'observent de jour en jour au niveau des différents ouvrages : anciens, nouveaux et même en cours de réalisation ; ce qui revient à dire que le phénomène signalé s'accroît de plus en plus durant ces dernières années pour devenir un fait réel. La wilaya de Biskra qui se situe au sud-est algérien, souffre ces dernières années des problèmes de dégradation qui ont touché des constructions de différentes natures : équipement, habitation, ouvrages d'art. Celui-ci nécessite d'effectuer des travaux de réparations et de réhabilitations pour pouvoir au moins assurer la durée de vie prévue initialement.

Afin de réhabiliter cet ouvrage, il est important d'effectuer un DIAGNOSTIC global. Cette procédure nous permettra d'identifier les différentes pathologies présentes, leur ampleur ainsi que leur cause. Grâce à cela, il est possible encore de proposer une méthode de réparation et de réhabilitation efficace et durable ainsi qu'une protection contre les attaques futures. L'expert joue un rôle incontournable pour le diagnostic et l'analyse de risques des ouvrages en service.

Pour effectuer un diagnostic, différents moyens d'investigation sont disponibles. On a d'une part les Méthodes destructives, pour les structures pouvant être localement dégradées et les méthodes non destructives pour les ouvrages nécessitant d'être préservés tels que les bâtiments classés monuments historiques. Une fois les causes ainsi que les pathologies

diagnostiquées, il est nécessaire de prévoir des travaux de réhabilitation afin de redonner à la structure ses caractéristiques physiques et mécaniques initiales. Afin de retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires, il est possible de protéger la structure. Il existe un grand nombre de protections, elles sont à choisir selon les différentes pathologies, mais aussi sur la durée de pérennisation espérée. Elles vont du simple revêtement appliqué sur le parement aux traitements d'injection.

**Objectif :**

Notre objectif via ce travail est la réalisation d'une expertise sur un ouvrage contenant plusieurs défauts et dégradations en tenant compte des conditions de service, l'apparition des fuites dans les réseaux d'assainissement des ouvrages, et de tous les composants néfastes de l'environnement de ces dégradations menaçant son bon fonctionnement et sa durabilité. Il s'agit du centre intensif des langues qui se trouve au niveau du pôle universitaire de Chetma W/Biskra. On s'intéresse aussi à la proposition de recommandations pour une éventuelle réparation de l'ouvrage. Cette étape est nécessaire pour la conservation des structures et leur durabilité.

Outre une introduction générale, ce mémoire est scindé en deux parties, la première est consacrée à une revue de la documentation et la deuxième est dédiée à un cas d'étude.

**La première partie**, comprend deux chapitres.

**Au premier chapitre**, nous présentons les notions et les différentes causes de dégradations des ouvrages en béton armé.

**Dans le deuxième chapitre**, nous présentons les procédés du diagnostic et quelques techniques de réparation et de renforcement

**La deuxième partie**, sera présentée sous forme d'un seul chapitre.

**Au troisième chapitre**, nous présentons la démarche du diagnostic du centre de langue à savoir les causes de dégradations et leurs origines probables avec des propositions de solutions pour la réhabilitation de l'ouvrage ayant subi des désordres accompagnés de propositions préventives de maintenance.

Enfin, une conclusion générale propose une synthèse des résultats obtenus aux chapitres précédents ainsi que des recommandations.

## **PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **Chapitre I**

## **Les notions de dégradation des ouvrages**

# Chapitre I

## Etude bibliographique

### I. Les notions de dégradation des ouvrages

#### I.1 Introduction

Les dégradations qui affectent les constructions, peuvent survenir à n'importe quel moment, c'est-à-dire durant la réalisation ou même quelques minutes après, comme elles peuvent se manifester à long terme.

Ces dégradations des bétons proviennent des attaques physiques mécaniques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent aussi provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

Devant cet état de cause, les travaux doivent être menés pour déterminer en première urgence les différents types de dégradations, puis les causes probables provoquant leurs apparitions, et enfin choisir les cas de remèdes qui mettront fin à ses dégradations.

C'est dans ce but que nous allons mettre en évidence dans ce qui suit les résultats de certains travaux accomplis par des spécialistes du domaine et qui concernent plus particulièrement les problèmes de la pathologie de la construction (**Derardja, 2004**).

Nous choisissons de commencer ce premier chapitre de cette thèse en présentant les indicateurs de durabilités de béton et leurs facteurs et les pathologies correspondantes.

#### I.2 Définition de la durabilité du béton

La durabilité est définie par la norme NF X 50-501 (durée de vie et durabilité des biens) comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état-limite soit atteint ».

Pour les matériaux et les ouvrages, on parlera plutôt de durabilité pour le matériau (qualifiant les aptitudes du béton à maintenir ses fonctions, par exemple de résistance aux agressions mécaniques et chimiques) et de durée de vie pour les ouvrages, la durée de vie d'un ouvrage étant le temps durant lequel l'ouvrage remplit en toute sécurité les fonctions pour lesquelles il a été construit, compte tenu des conditions de service et des exigences économiques. On emploie aussi le terme de durée de service (<https://www.doccity.com/fr>).

### I.3 Les indicateurs de durabilité de béton

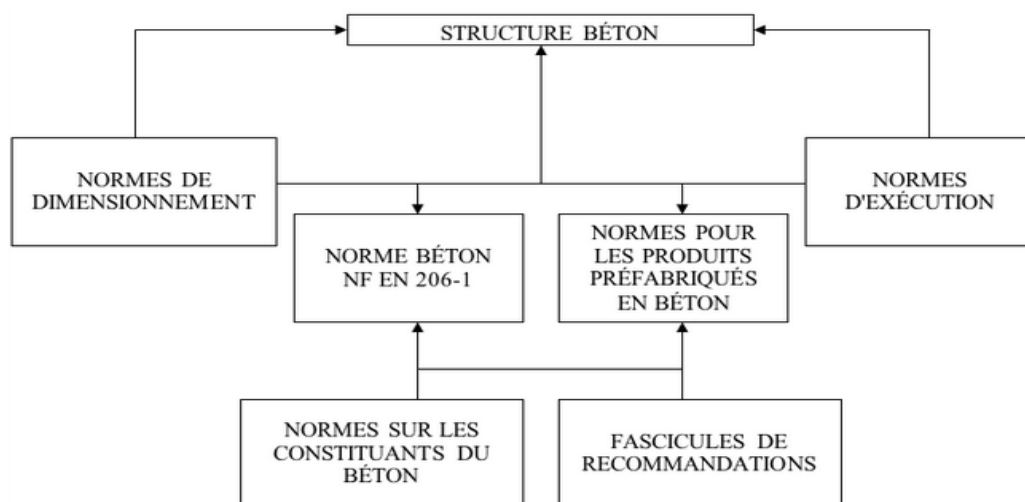
Le béton est un matériau durable, car il est toujours possible d'adapter sa composition et sa formulation aux contraintes environnementales auxquelles il sera soumis pendant sa durée de service, en respectant les critères de performances mécaniques.

Les indicateurs de durabilité sont des paramètres qui permettent d'évaluer et de déterminer la durabilité des bétons. Comme un béton d'enrobage fournit, dans un premier temps, une barrière physique (la porosité, l'absorption, la perméabilité et la diffusivité), et dans un deuxième temps, une protection chimique (la réactivité et la solubilité), les indicateurs de durabilité sont destinés à évaluer ces barrières au travers des tests spécifiques.

Les indicateurs de durabilité généraux permettent d'évaluer la durabilité de tout type de bétons. Ils sont identifiés dans le guide AFGC (AFGC, 2004).

- ❖ les indicateurs généraux à tous les bétons (porosité, absorption d'eau, perméabilité au gaz, diffusion de Cl-, ...),
- ❖ les indicateurs spécifiques à une pathologie particulière (résistance à la carbonatation, gel/dégel, réaction alcali-silice...).

Pour obtenir la durabilité spécifiée, il convient de respecter les recommandations ou les normes d'exécution des ouvrages tels que celui présenté dans le fascicule 65, le DTU 21, ou les normes des produits préfabriqués (**Figure I-1**) ainsi que la norme NF EN 13369 pour les produits structuraux.



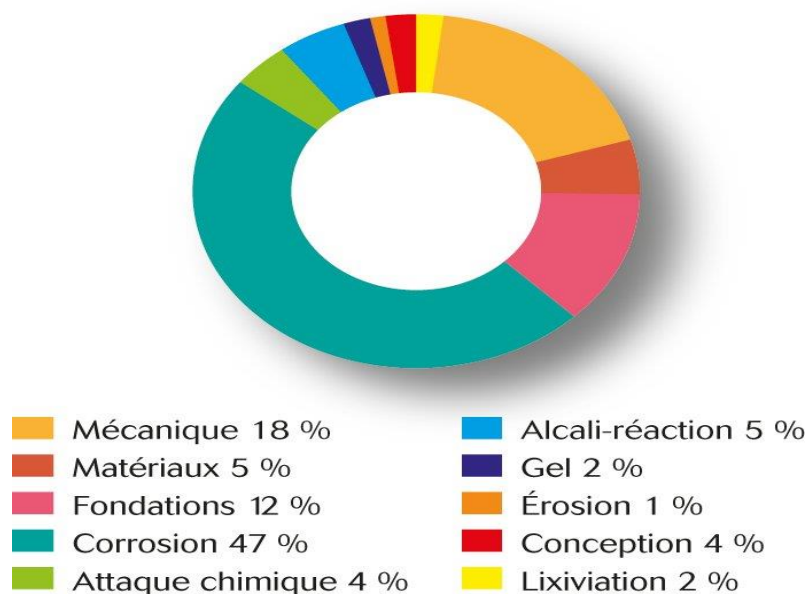
**Figure I-1** Représentation schématique des normes appliquées pour la durabilité des structures (<https://www.infociments.fr/betons/notion-de-durabilite-des-betons>)

## I.4 Les pathologies et les causes de dégradation du béton armé

### I.4.1 Définition dégradation du béton

La dégradation du béton est sa perte de performance qui se manifeste par détérioration, déformation ou changement de ces propriétés. La fissure constitue le signe d'une première manifestation apparente de dégradation possible, comme elle peut prendre l'aspect des éclats ou coulures de rouille (Haouara,2004).

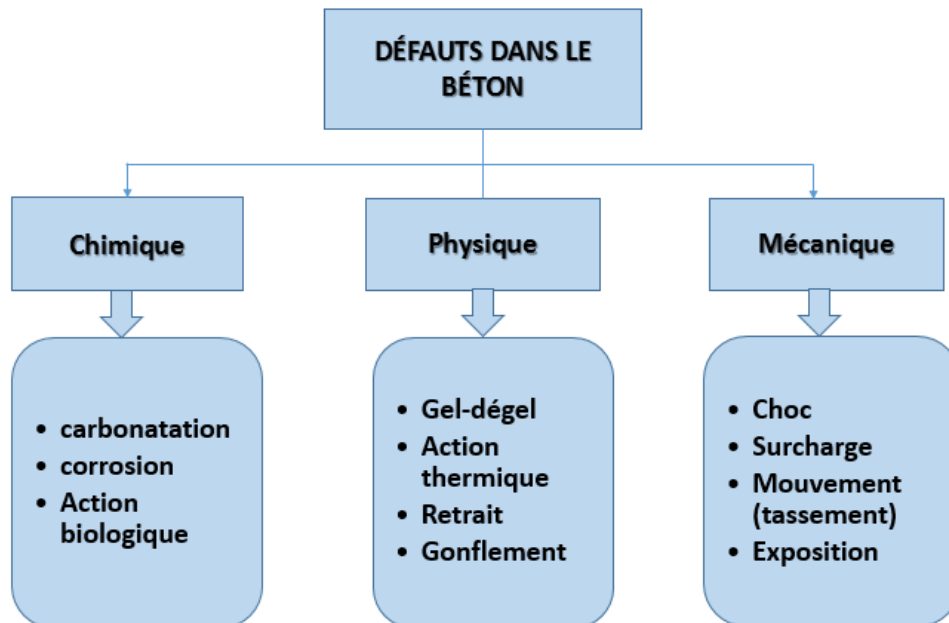
Considéré au début de son utilisation comme un matériau inerte et insensible aux agressions, le béton s'est révélé potentiellement affecté au fil du temps de phénomènes de dégradation plus ou moins complexes, selon les conditions d'exposition des ouvrages aux environnements et/ou selon la composition intrinsèque du béton et ses conditions de mise en œuvre. **La Figure I-2** ci-dessous Clarifie les Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages.



**Figure I-2** Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages  
(<https://www.infociments.fr/genie-civil/les-facteurs-de-degradation-du-beton>)



Les facteurs de dégradation du béton peuvent être déclinés en trois principaux types de défauts et dégradations présentés dans l'organigramme illustré sur **la Figure I-3**.



**Figure I-3** Les dégradations et les défauts du béton armé

## I.5 Dégradation physiques

### I.5.1 Retrait

Le retrait du béton correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise du béton. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par un ferrailage approprié et par des joints, ces variations dimensionnelles engendrent l'apparition de **fissures**. Les fissures dues au retrait ne doivent pas être confondues avec les fissures liées à la fonctionnalité des ouvrages (dus à l'application d'efforts trop importants par exemple). Celles-ci étant maîtrisées par les règles de calcul du béton armé. [\(Christophe Carde, 2006\)](#)

Le phénomène du retrait est due d'une grande part à l'effet de l'eau par évaporation (**Figure I-4**), sa valeur varie grossièrement de 2 à 3/10 mm/m, en moyenne. Au contraire, dans l'eau le béton gonfle par absorption d'eau. Avec le temps, le retrait augmente. Mais, en général à un mois d'âge, les 3/4 environ du retrait du béton sont pris.

Le phénomène du retrait augmente principalement avec :

- la quantité d'eau élevée
- le dosage en ciment élevée

– l'exposition au soleil et au vent (atmosphère sèche).

Il varie également en fonction de (Jean Delefosse, 2013) :

- la nature des agrégats (de 1, pour des agrégats de type quartzite, à 3, pour des agrégats de type argile expansée) ;
- le dosage en sable (en particulier en raison de la proportion de fines) ;
- la nature du ciment ;
- la forme de l'élément.

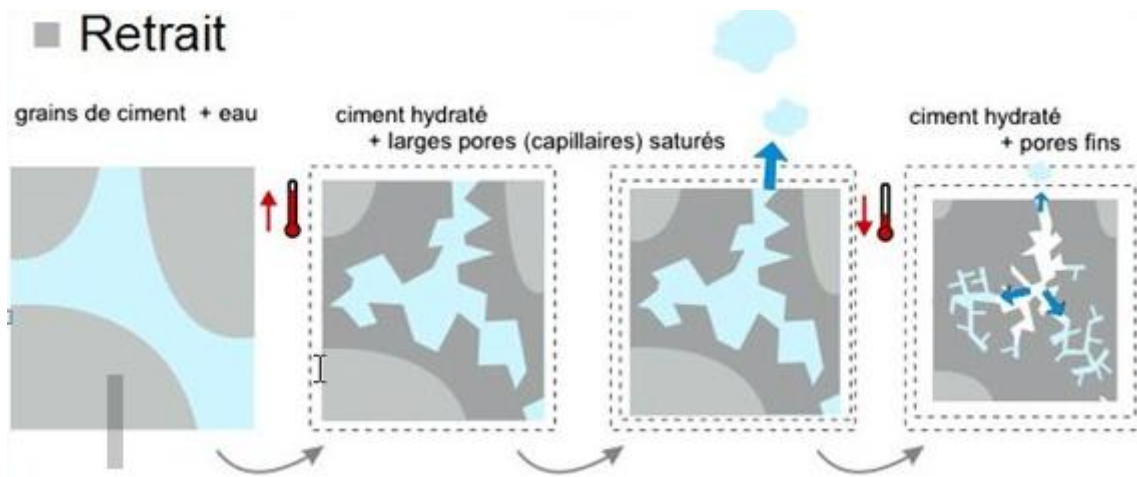


Figure I-4 Différent types de retrait (Delefosse, 2013)

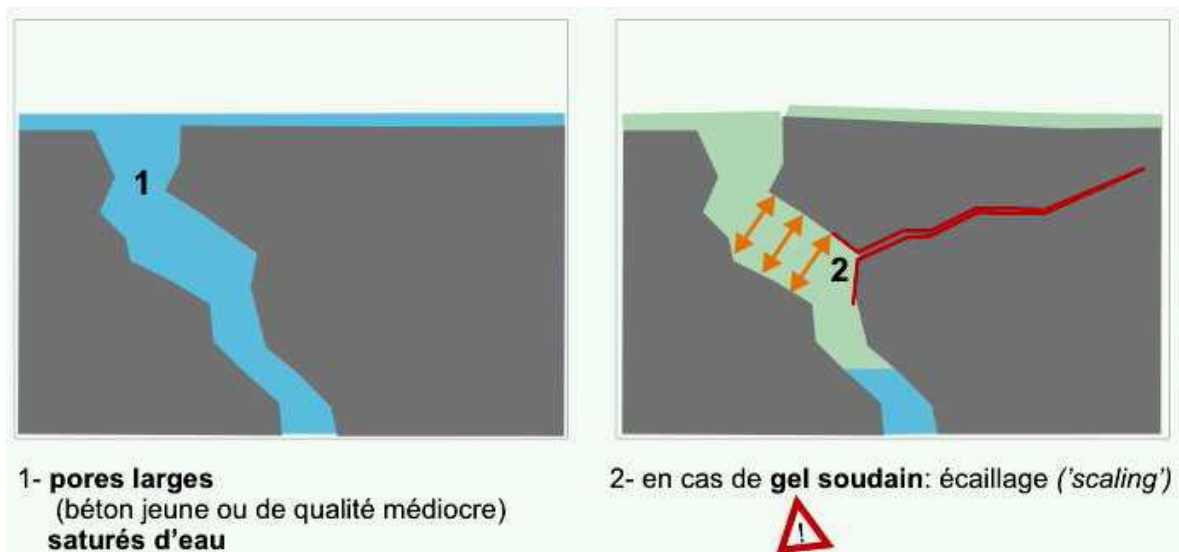
On distingue 4 types de retrait :

- **Le retrait plastique** : créé par la dessiccation de la pâte de ciment au début du phénomène d'hydratation.
- **Le retrait par auto-dessiccation** de la pâte de ciment au cours de l'hydratation.
- **Le retrait thermique** dû aux effets des gradients de température qui se manifestent dans le béton lors de la dissipation de la chaleur d'hydratation.
- **Le retrait à long terme du béton durci ou retrait proprement dit**, dû à l'évaporation de l'eau contenue dans le béton à la poursuite de l'hydratation du liant.

### I.5.2 Gel-dégel

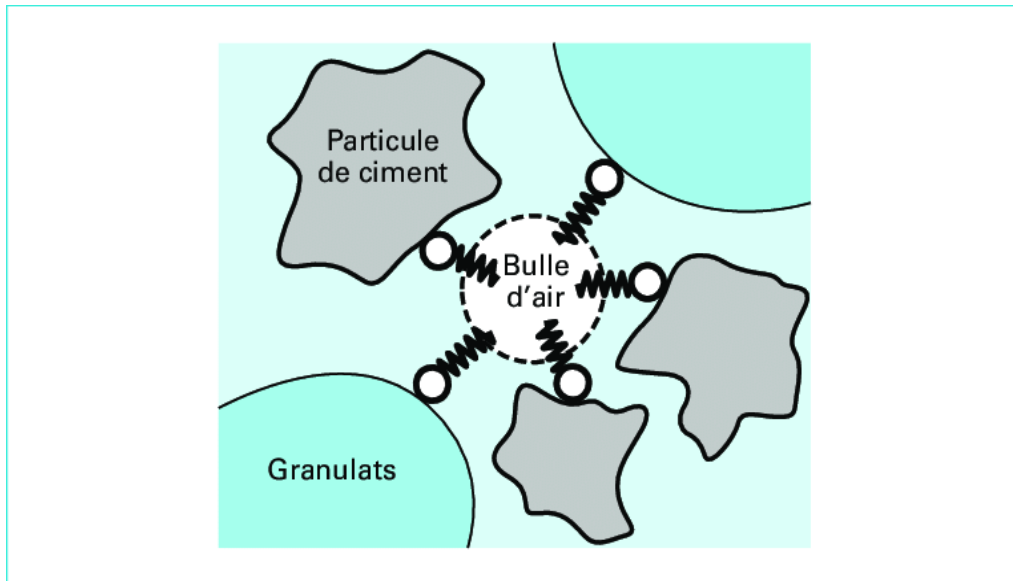
Les cycles de gel-dégel provoquent une expansion de la masse du béton jusqu'à fissurer le matériau s'il est de mauvaise qualité. Car la transformation de l'eau en glace se traduit par une augmentation de volume de 9 % qui provoque une expulsion de l'eau hors des capillaires (Calgaro j & Lacroix , 1997).

L'eau qui y pénètre à l'intérieur des pores de béton ou pâte de ciment en plus des sels de dévers-glaçage versés en surface se gèle est donc augmentée de volume générant ainsi des tensions à l'intérieur du béton qui provoquent des fissurations et écailllements du béton (**Figure I-5**). Le volume d'air occlus est d'environ 1 à 2%, teneur non suffisante pour faire face au volume d'eau qui gèle. Pour résister à ce phénomène, il faut augmenter le volume d'air en entraînant une certaine quantité à l'aide d'un adjuvant chimique (agent entraîneur d'air). La norme BNQ recommande une teneur en air variant de 4 à 8% dépendamment des conditions d'exposition du béton, de la grosseur des granulats etc... (**Tagnit-Hamou, 2019**).



**Figure I-5** Le mécanisme de dégradation par le gel dégel (**Boeraeve, 2009**)

Pour résister à ce phénomène et pour empêcher l'effet de gel, l'utilisation d'un agent d'entraîneur d'air qui peut créer un réseau de bulle de petite dimension et bien répartie, **la figure I-6** explique le mécanisme du travail. Ce type d'adjuvant a un double rôle qui s'agit de fractionner les gros bulles en d'autres de faibles dimensions d'une part et d'autre part de maintenir le pourcentage d'air de l'ordre 3 à 8 % du volume de béton.



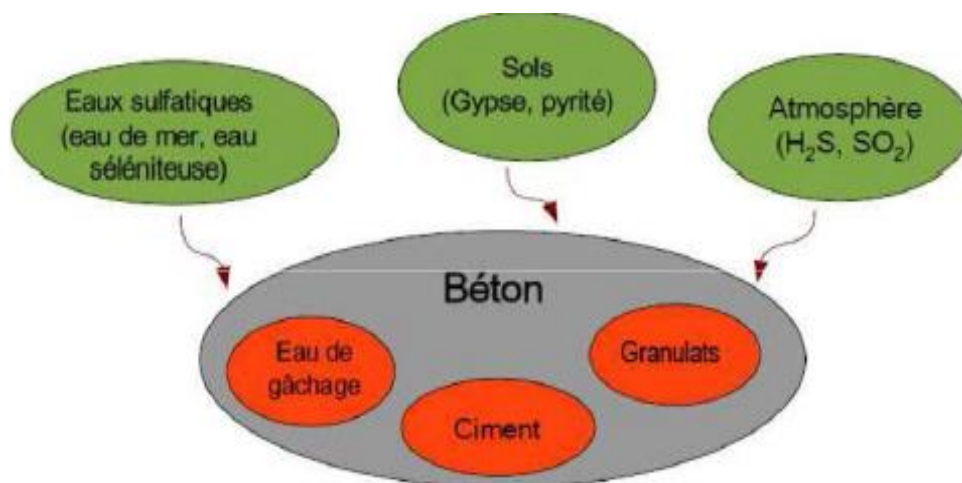
**Figure I-6** Mécanisme d'un entraîneur d'air dans le béton  
[https://www.researchgate.net/figure/Tableau-16-Dosage-des-differents-constituants-en-fonction-des-types-de-ciment-et-de\\_tbl2\\_255743909](https://www.researchgate.net/figure/Tableau-16-Dosage-des-differents-constituants-en-fonction-des-types-de-ciment-et-de_tbl2_255743909)

## I.6 Dégradations chimiques

### I.6.1 Réactions et attaques sulfatiques

La Figure I-7 donne les différentes sources de sulfates :

- \_ Internes au béton
- \_ Externes au béton



**Figure I-7** Sources de sulfates (Gasser, 2014)

### I.6.1.1 Réaction sulfatique interne

La réaction sulfatique interne (RSI) est une réaction pathogène qui est due à la présence d'un hydrate expansif, l'ettringite, dont la formation dans un béton durci peut provoquer des contraintes importantes se traduisant par une expansion du béton.

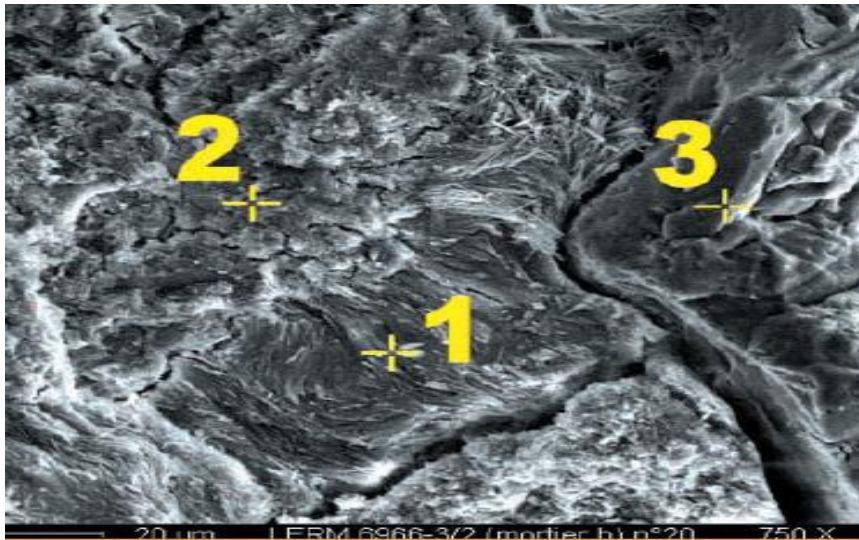
A l'origine de ce phénomène, l'ettringite est aussi un produit normal de l'hydratation du ciment Portland. En effet, le ciment Portland est constitué d'un mélange de clinker et de gypse qui en contact avec de l'eau produit, entre autres, des silicates de calcium hydratés, de l'hydroxyde de calcium (ou portlandite) et de l'ettringite (tri-sulfo-aluminate de calcium hydraté). L'ettringite peut se former à différentes échéances dans une matrice cimentaire et présenter des faciès variés. De plus, l'origine des constituants entrant dans sa composition peut elle aussi changer. Cela se traduit par l'existence de plusieurs types d'ettringite ([GranDuBé, 2007](#)).

Le phénomène de réaction sulfatique interne (RSI) résulte de la formation différée d'ettringite et de formule chimique  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$  :



On distingue trois types d'ettringite qui peuvent coexister dans un même béton. Elles se différencient essentiellement par les conditions de leur formation (**Figure I-8**) :

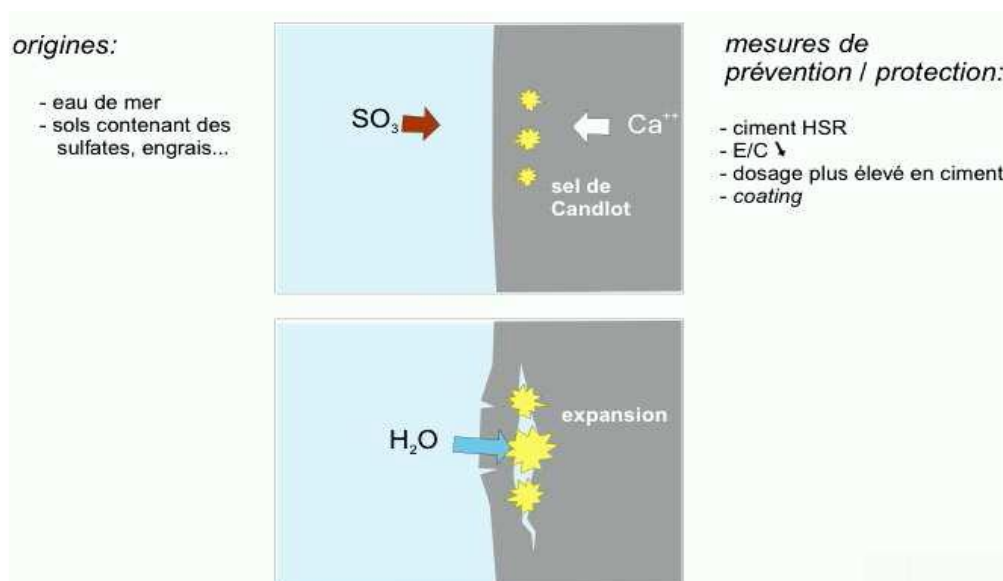
- **l'ettringite de formation primaire (1)** : Cette ettringite correspond à un produit issu de l'hydratation des ciments qui se forme par réaction entre le régulateur de prise (gypse, hémihydrate anhydrite) et l'aluminate tricalcique ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  ou  $\text{C}_3\text{A}$  en notation cimentière) du clinker qui ne provoque pas d'expansion,
- **l'ettringite de formation secondaire (2)** : Elle se forme quand le béton a déjà l'état durci correspond à une ettringite qui cristallise dans le béton durci qui peut provoquer une expansion,
- **l'ettringite de formation différée (3)** : consécutive à une élévation de température subie par le béton au cours de son histoire, qui peut aussi provoquer une expansion dans les bétons. (se rencontre uniquement dans les bétons ayant subi au jeune âge un échauffement supérieur à  $65^\circ$ ) ([Godart, 2009](#))



**Figure I-8** Différents types d'ettringite (**Réaction sulfatique interne dans les structures en béton - Mécanisme, technique de l'ingénierie**)

### I.6.1.2 Attaque Sulfatique Externes

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment (**Figure I-9**), d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire (**Figure I-10**), à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) (**FERHATI, 2016**)



**Figure I-9** Mécanisme d'attaque sulfatique externe (**Boeraeve, 2009**)





**Figure I-10** Pathologie des pieux due à l'attaque sulfatique (Khial, 2016)

### I.6.2 La réaction alcali granulat RAG

C'est une réaction endogène «génère à l'intérieur » qui affecte le béton dans sa masse contrairement aux autres réactions.

Les mécanismes des réactions alcali granulat au sein des structures résultent, dans leur principe d'une réaction entre la phase liquide interstitielle contenant des alcalins en quantités importantes, et les particules réactives contenues dans les granulats (silice amorphe ou silicate ou même dolomite). La température et l'humidité créent un environnement propice, la fissuration en réseau est le désordre le plus fréquemment rencontré et même des faïençages avec des mailles de petite dimension (20 à 50 mm) plus au moins grande (30 à 40 cm) [la figure I-11]. Et une profondeur de fissures assez faible (quelques centimètres), plus au moins importante (supérieure à 10 cm) (CHABBI, 2018).



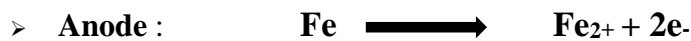
**Figure I-11** Figure I 11Alcali réaction [<https://www.tfb.ch/fr/Conseils-et-expertises/Nos-competences/Monitorage/Reaction-alkali-granulat-RAG/Reaction-alkali-granulat.html>]

### I.6.3 La corrosion des armatures

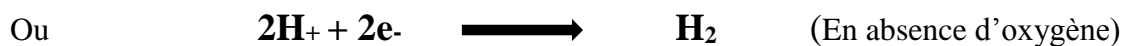
Les aciers dans le béton sont naturellement protégés contre la corrosion par la nature alcaline du milieu (le pH est de l'ordre de 13), et l'existence d'un film de passivation issu des interactions chimiques de la pâte de ciment au cours de son hydratation et la couche superficielle des aciers ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$  et de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

La corrosion est Phénomène de nature électrochimique, car elle s'agit à la fois de réaction chimique et de transfert d'électrons. Son principe est simple : une pile se forme entre le métal et une impureté en raison des différences de potentiel entre les deux éléments (**Figure I-12**). (Eyrolles, 1976)

Les réactions chimiques de base dans les régions anodiques et cathodiques sont les suivants :

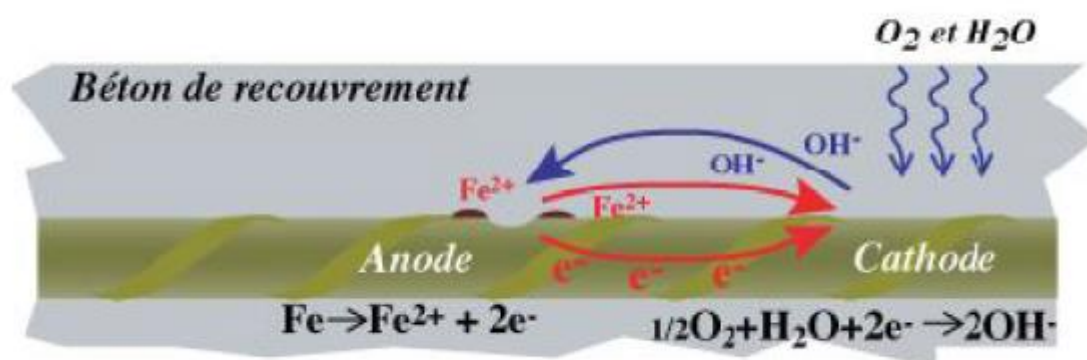


Ensuite, se produit une réaction cathodique de réduction de l'eau ou de l'hydrogène :



La dernière ne se produit généralement qu'en milieu acide.

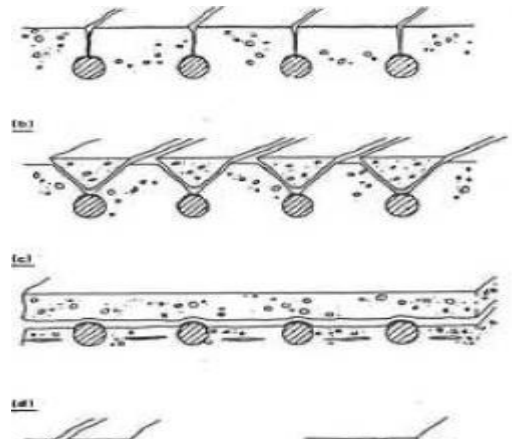
La rouille apparaît lorsque les ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) réagissent avec les ions ( $\text{OH}^-$ ) pour former de l'hydroxyde ferreux  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  : (Haouara, 2004)



**Figure I-12** Processus de la corrosion d'armature en acier (Moriande, 2005)



la production de l'hydroxyde ferreux  $Fe(OH)_2$  conduisent à la formation de produits de corrosion de expansifs. Les réactions se poursuivent et conduisent à la formation de produits de corrosion expansifs Cette augmentation de volume par rapport au volume initial provoque une fissuration et un éclatement au niveau du béton d'enrobage. Sur le plan structurel, la corrosion est à l'origine d'une perte de section des armatures et une perte d'adhérence entre le béton et l'acier voir **figure I-13.**(koléva et al,2006)



**Figure I-13** Fissuration du béton à cause de la corrosion (Scrivener, 2001)

Les principaux agents agressifs sont (**Figure I-14**) :

- La carbonatation du béton, on parle alors de corrosion uniforme.
- L'attaque de la couche passive par les ions chlorure, on parle alors de corrosion localisée, par piqûre.

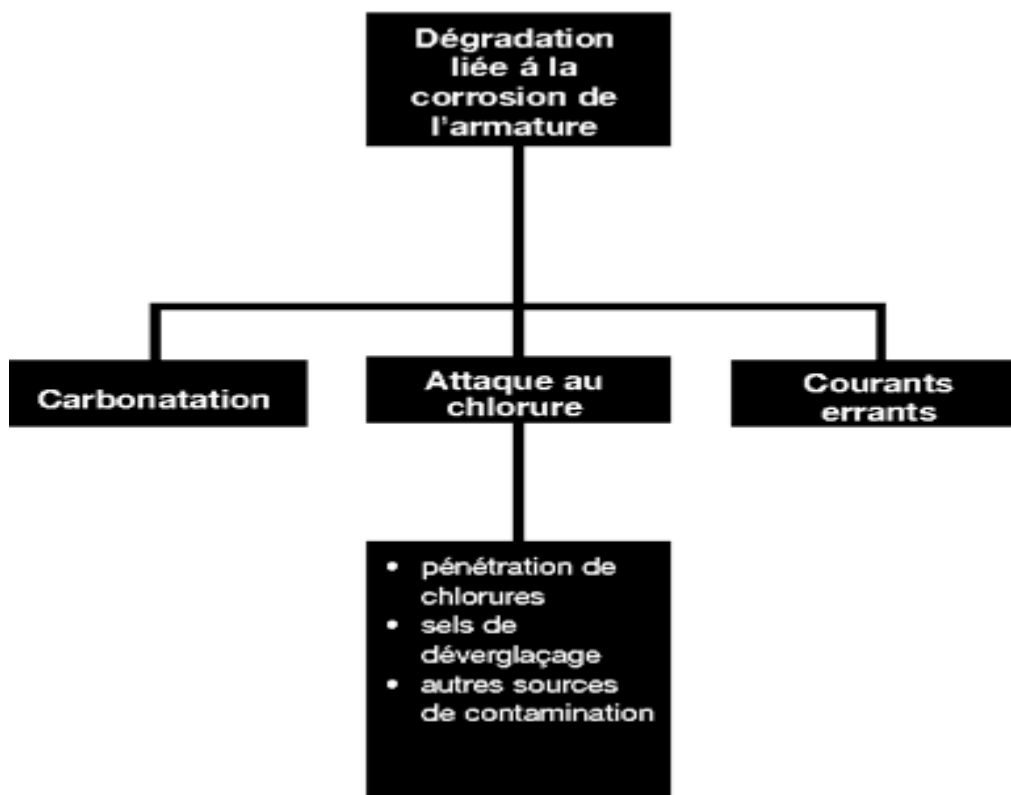


Figure I-14 Dégradation liée à la corrosion d'armature

### I.6.4 Carbonatation

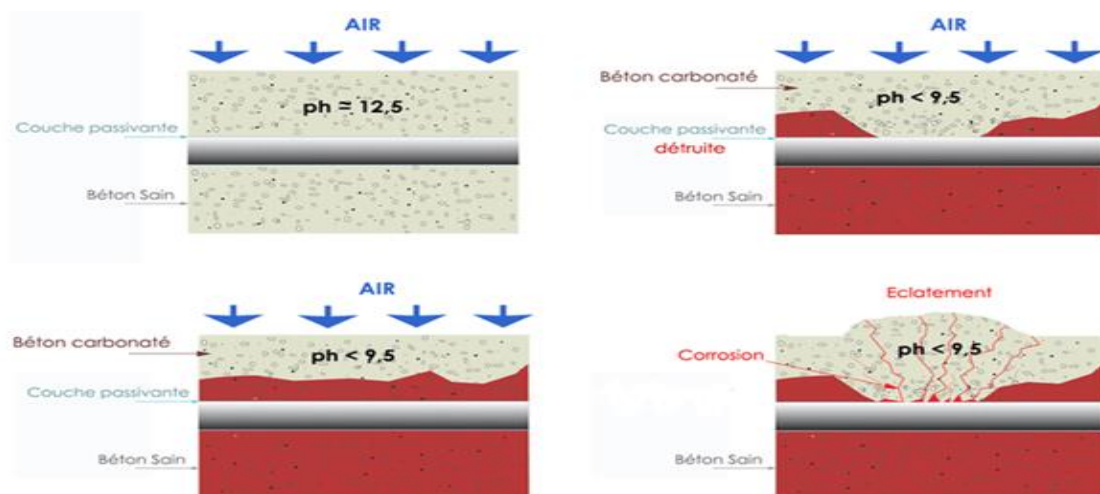
La carbonatation est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie, mais avec le temps, atteint des couches de plus en plus importantes.

La carbonatation du béton par le gaz carbonique de l'air ( $\text{CO}_2$ ) est un phénomène naturel qui n'est pas nocif pour le béton. Au cours de la prise et du durcissement. Les ciments se combinent avec l'eau pour former des produits hydratés de caractère basique. Certains de ces produits [ $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$  et  $\text{Ca(OH)}_2$ ] restent dissous dans la solution aqueuse interstitielle du béton (dont le pH est compris entre 12 et 13). Le  $\text{CO}_2$  pénètre sous forme gazeuse dans le béton d'enrobage et réagit avec les hydrates du ciment, en particulier la portlandite  $\text{Ca(OH)}_2$ , pour former en présence d'eau, de la calcite  $\text{CaCO}_3$  suivant la réaction :



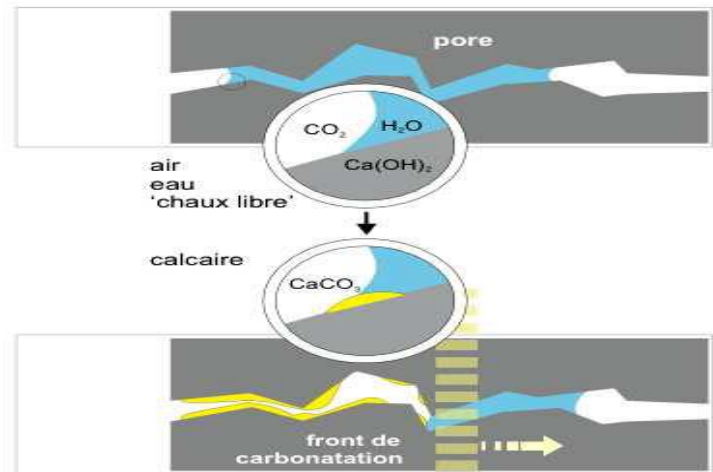
Cette réaction entraîne la consommation de bases alcalines présentes dans la solution interstitielle des bétons aboutissant à une diminution du pH qui passe d'une valeur de 13 à une valeur inférieure à 9. Le taux de carbonatation dépend principalement de l'humidité relative, de la concentration en  $\text{CO}_2$ , des différentes pressions partielles de  $\text{CO}_2$  et de la température de l'environnement où le béton est placé (**Figure I-15**) (Neville, 2001).

La progression du  $\text{CO}_2$  dépend de la perméabilité de ce dernier. L'état hydrique du béton influe sur sa perméabilité (**Figure I-16**). Lors de la réalisation d'ouvrage en béton, un seuil de perméabilité du béton est fixé de manière à limiter la pénétration d'agents agressifs comme le  $\text{CO}_2$ . Ce seuil dépend de l'exposition de l'ouvrage (état hydrique) (Balayssac, 1998)



**Figure I-15** Processus de carbonatation (Neville, 2001).

Le  $\text{CO}_2$  présent dans l'atmosphère se diffuse dans les pores du béton et se dissout en acide au contact de la solution interstitielle. Cette acidification conduit à la dissolution des hydrates et notamment de la portlandite, abaissant ainsi le pH de la solution à une valeur inférieure à 9, en réduisant la passivation des aciers et permettant l'amorçage de la corrosion des armatures.



**Figure I-16** La pénétration de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans les pores de béton. (Boeraeve, 2009)

### I.6.5 Les ions de chlorures

Les chlorures en tant que tels sont inoffensifs pour le béton. Cependant, si leur concentration suffisamment élevée dans l'eau qui contient la structure poreuse entourant les armatures, ils peuvent donner lieu à des foyers très locaux de corrosion appelés piqûres de corrosion.

Les chlorures contenus dans le béton peuvent provenir :

- Soit du béton lui-même : par l'intermédiaire de l'eau de gâchage, d'un adjuvant ou de granulats contenant des chlorures ;
- Soit de l'environnement extérieur : embruns marins, sels de déverglaçage ou produits chimiques qui pénètrent dans le béton par diffusion et/ou par convection selon le taux de saturation du matériau (MAL-NHU, 2015)

Le problème de l'attaque du béton par les chlorures survient habituellement lorsque des ions chlorures pénètrent de l'extérieur. La vitesse de corrosion des barres d'armature est plus grande en présence de chlorures.

- Les chlorures ont deux effets dans les mécanismes de corrosion (**Figure I-17**) :
  - ° Ils diminuent la résistivité de l'électrolyte (le couvert de béton), ce qui facilite le transport des ions d'un site à l'autre.
  - ° Ils permettent l'amorçage plus rapide de la corrosion en dépassivant la couche superficielle. (Dissolution de la couche passive ou migration des chlorures à travers le film d'oxyde).
- Aux endroits où la couche a été détruite, l'acier se dissout (zone anodique), alors que le reste de la surface encore passivée correspond à la zone cathodique.

### Effet des chlorures

- Les ions chlore sont rarement distribués de manière homogène à la surface de l'acier et il subsiste quelques imperfections dans la couche passive qui facilitent l'incorporation des ions chlore
- Par conséquent, la dégradation de la couche passive est un phénomène local
- Cela conduit à une corrosion par piqûre (avec un taux élevé de cathode-anode)

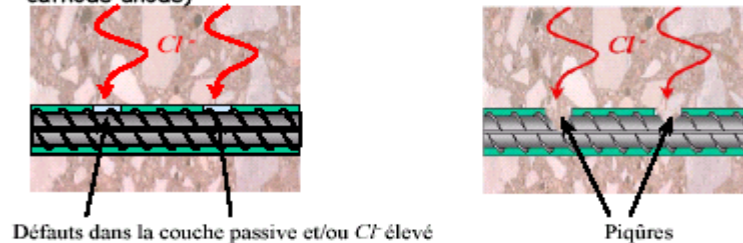
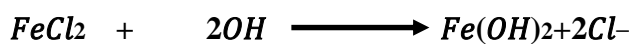


Figure I-17 Effet des chlorures

(<http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

En effet, les ions  $Cl^-$  réagissent avec les ions  $Fe^{++}$  pour former du chlorure de fer. Celui-ci consomme les ions hydroxyle, migre et s'oxyde plus loin en déposant de la rouille. De là, les tâches de rouille en surface du béton, typiques d'une corrosion par les chlorures. Les réactions se déroulent comme suit :



Ces réactions engendrent une importante baisse du pH. (PH = 3 à 5). La dissolution du fer est alors accélérée. Les ions chlorures sont constamment recyclés

La corrosion initiée par les chlorures est donc une corrosion localisée par piqûres de l'acier.

La Figure I-18. Apparaît l'attaque par piqûre. (Ployaert, C, 2009)

Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure

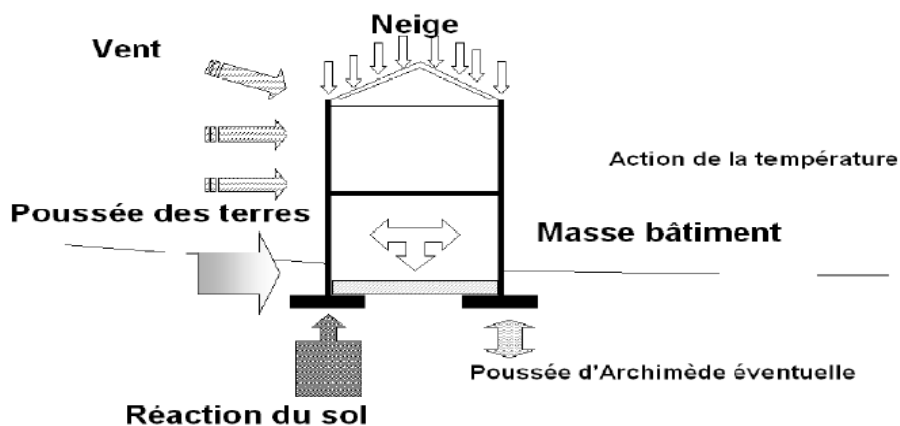


Figure I-18 Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure  
(<http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

## I.7 Dégradation mécanique - Mouvement (Tassement)

Un bâtiment prend appui sur le sol et lui transmet un ensemble de charges. Les fondations jouent un rôle de transmission au sol de toutes les actions provenant de l'ouvrage dont elle fait partie (charges permanentes et variables) avec bonne répartition. Les forces qui s'exercent sur la construction sont (voir **Figure I-19**) : son poids, le vent, la neige, l'influence de la chaleur et de l'humidité, les forces de contact du sol sur la partie de maçonnerie qu'on nomme fondation. Ces dernier sont adaptées à la fois à la nature du sol et à la structure du bâtiment.

Le sol doit être suffisamment résistant pour éviter l'enfoncement du bâtiment de manière uniforme ou dissymétrique (tassements différentiels entre deux parties solidaires de l'ouvrage)



**Figure I-19** les charges transmet à la fondation dans un ouvrage  
<https://fr.scribd.com/document/333199530/PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations>

### I.7.1 Définition de mouvements de sol

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou anthropiques (terrassment, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.). (MATE, 1999).

Ce phénomène comprend diverses manifestations : lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure.

### I.7.2 La classification des mouvements de sol

Les formes et l'ampleur des mouvements de terrain sont très diverses en raison de la multiplicité des mécanismes d'initiation et d'évolution (déformation et rupture sous charge statique ou dynamique,...), liés à :

- La topographie (pente du versant, dénivelée, etc...)
- La lithologie (caractéristiques physiques et mécaniques et la sensibilité des matériaux solide, plastique, visqueux et liquide),
- La structure géologique (pendage, fracturation, superposition des couches...)
- Aux nappes aquifères,
- La teneur en eau, etc.

### I.7.3 Types de mouvement de sol

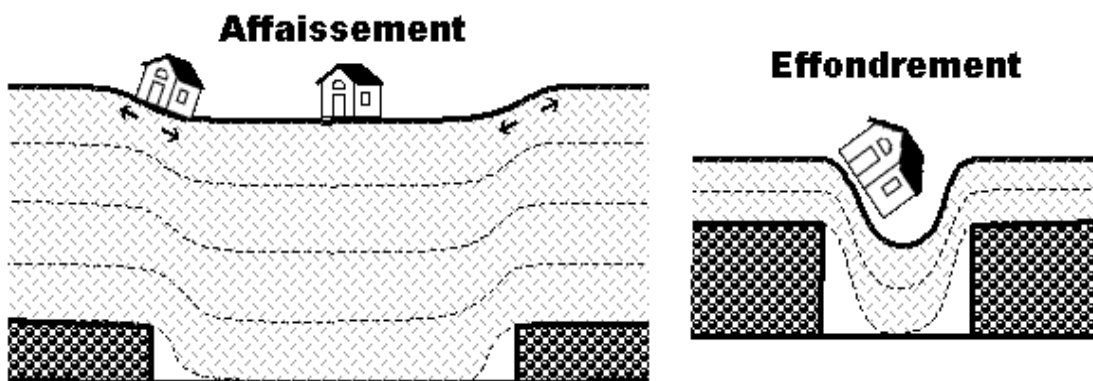
Selon (METL-MEDDE/DGPR, 2012) on considère 2 type de mouvement de terrain :

- **Les mouvements lents** : entraînent une déformation progressive des terrains qui ne sont pas toujours perceptibles par l'homme. Il s'agit des affaissements, des tassements, des glissements, de la solifluxion, du fluage, du retrait-gonflement.
- **Les mouvements de terrain rapides** : se propagent de manière brutale et soudaine : il s'agit de chutes de pierres ou de blocs, d'effondrements de cavités souterraines, d'éboulements rocheux ou de coulées de boue.

### I.7.4 L'affaissement

L'affaissement c'est une dépression topographique en forme de cuvette à grand rayon de courbure dû au fléchissement lent et progressif du terrain de couverture avec ou sans fractures ouvertes. Dans certains cas il peut être le signe annonciateur d'effondrement (L'effondrement est au contraire plus rapide) des bâtiments. **Figure I-20** expliquant le phénomène d'affaissement et effondrement.

([https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement\\_et\\_effondrement\\_miniers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement_et_effondrement_miniers)).



**Figure I-20** le phénomène d'affaissement et effondrement. ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement\\_et\\_effondrement\\_miniers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement_et_effondrement_miniers))



Cet affaissement crée un tassement différentiel sur les fondations qui se traduit par des fissures plus ou moins importantes et ouvertes, parfois traversâtes, allant de la dégradation du ravalement à la ruine des murs porteurs, en passant par le blocage des portes et fenêtres.

### I.7.5 Tassement

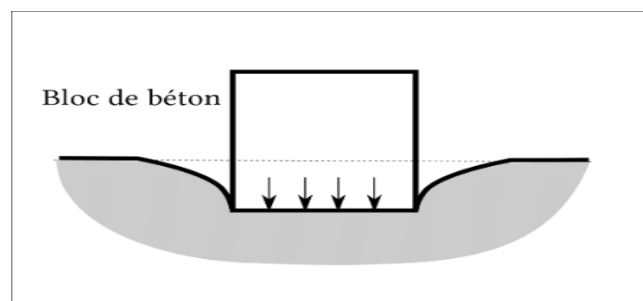
Le tassement c'est une diminution de volume de certains sols (vases, tourbes, argiles...etc.), sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement (**Figure I-21**). Ce phénomène peut être de grande extension et affecte des agglomérations entières. (**MEDAD, 2008**)



**Figure I-21** Schéma Explicatif des phénomènes de Tassement (**MEDAD 2008**)

#### I.7.5.1 Tassements uniformes :

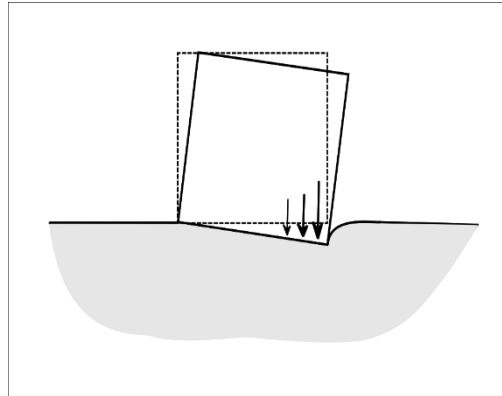
Les tassements uniformément repartis (**figure I-22**) affectent peu la structure les mouvements qui en résultent peuvent cependant endommager les services et accessoires tels les conduites d'eau et les passages souterrains.



**Figure I-22** Tassement uniformément réparti

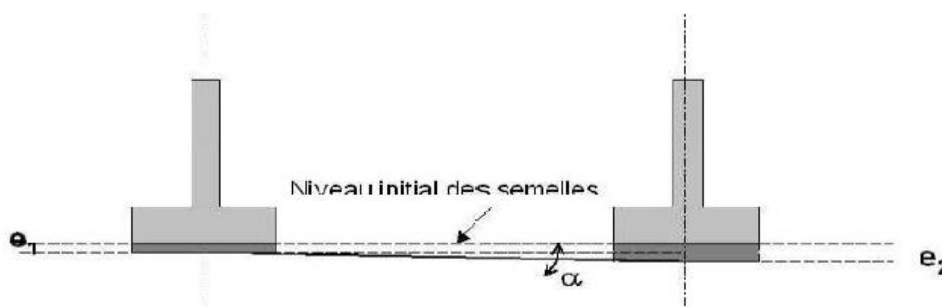
### I.7.5.2 Tassements différentiels :

Quand on parle de tassement différentiel comme explique **la figure I-23**, on désigne le mouvement relatif de différentes parties de la structure qui résulte d'une consolidation inégale du sol d'appui. Cela peut parfois entraîner la ruine de l'ouvrage.



**Figure I-23** Tassement différentiel

Le tassement différentiel peut être responsable de dégradations pouvant mener jusqu'à la ruine d'une construction. Le fonctionnement est le suivant : en fonction de la constitution du sol d'assise, des différences de comportement peuvent apparaître sous des semelles, de sorte que le tassement absolu  $e_1$  soit dépassé pour une semelle. Dans **la figure I-24**,  $e_2 > e_1$ . Le tassement de la semelle 2 dépasse le tassement absolu prévu de l'ensemble du sol sous les semelles du bâtiment. Il en résulte un tassement  $e_2 - e_1$  appelé « tassement différentiel », avec une déflexion angulaire du sol  $\alpha$ . (<https://fr.scribd.com//PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations>)



**Figure I-24** La différence de comportement des semelles

<https://fr.scribd.com//PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations>



### I.7.6 Origines et causes du tassement du sol

Le sol est un matériau comme les autres, il a aussi une limite élastique, et une certaine aptitude à la plasticité. Ceci nous permet de donner des explications du phénomène des tassements. Le sol porteur se déforme sous l'action d'une charge. Il y a une différence de niveau, un tassement par rapport au niveau initial. Si lorsque les charges sont enlevées, le sol revient à son niveau initial au bout d'un certain temps, on parle de tassement élastique. S'il reste un tassement résiduel après levée des charges, on parle de tassement plastique.

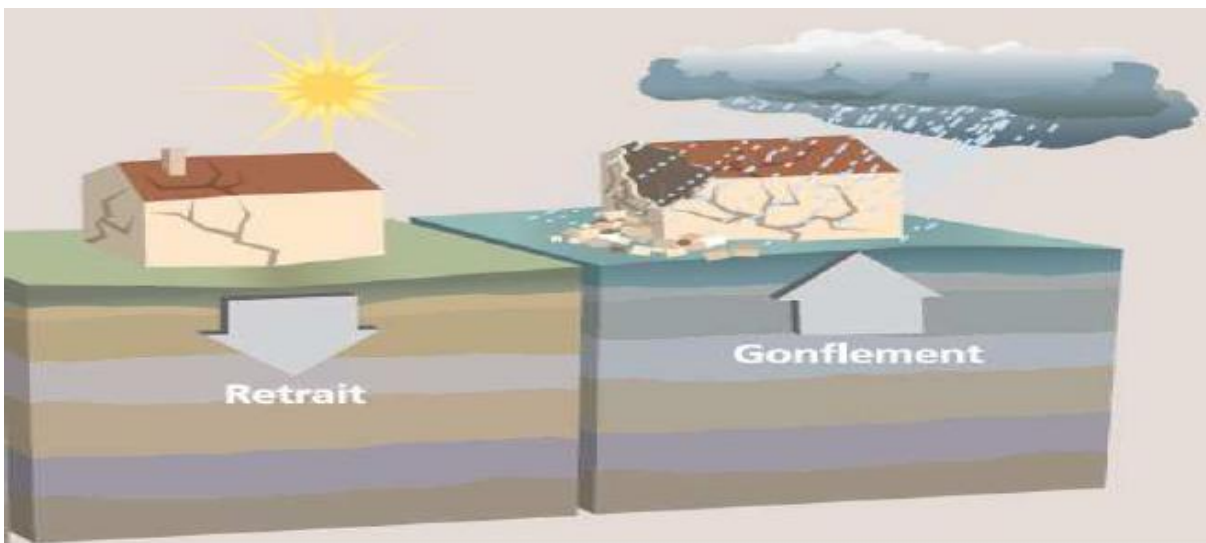
Parmi les causes donnant naissance à des tassements (uniformes et différentiels), on peut citer :

- Hétérogénéité naturelle du sol.
- Approche des calculs de tassement qui donnent une valeur approchée de la valeur réelle.
- Fondations hétérogènes faites sans précautions spéciales (tassements différentiels amenant des basculements d'ouvrages ou des ruptures partiels).
- Absence d'étude de sol.
- Présence d'eau ou venue d'eau modifiant les caractéristiques du sol.
- Défauts de réalisation. ([Guide De Pathologie En Bâtiment](#))

Ces phénomènes de tassement ne peuvent être évités. Lorsqu'un bâtiment est construit, il y a d'abord un tassement immédiat (qualifié d'absolu), puis le sol réagit en fonction de ses caractéristiques singulières sous une fondation précise. La durée d'un tassement peut prendre plusieurs mois, voire plusieurs années.

### I.7.7 Les pathologies dus aux sols gonflant (phénomène de retrait-gonflement) :

Dans le domaine du génie civil, les déformations causées par le retrait/gonflement des sols argileux, interagissant avec les structures et ouvrages, induisent en général des tassements différentiels au niveau de la base de l'ouvrage, qui peuvent conduire à des dégradations, affectant soit les éléments structuraux soit l'esthétisme de l'ouvrage (microfissures). ([Vincent et al. 2008](#)). Il se manifeste dans les sols argileux et est lié aux variations en eau du terrain. Lors des périodes de sécheresse, le manque d'eau entraîne un tassement irrégulier du sol en surface : on parle de **Retrait**. A l'inverse, un nouvel apport d'eau dans ces terrains produit un phénomène de **Gonflement**. Comme explique la Figure si dessus (1-25).



**Figure I-25** Phénomène de retrait-gonflement et ces conséquences sur les constructions  
<https://fr.scribd.com//PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations>

### I.7.7.1 Mécanismes de gonflement

Les matériaux susceptibles de gonfler sous l'action de l'eau sont les sols argileux naturels, les marnes, les roches argileuses et les roches composées d'anhydrite. Le processus de gonflement du taux d'absorption de l'eau. Il met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Il dépend aussi de la texture du matériau. C'est-à-dire de l'organisation des plaquettes entre elles. (Freeah 2006).

### Causes du gonflement

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

**« Minéraux expansifs + eau = gonflement »**

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

- L'ouvrage est construit dans une région à saison constatées (saison sèche- saison humide, en région tropicale par exemple).
- La méthode d'exécution ou de confortement de l'ouvrage utilisant l'eau

- Des travaux de drainage contribuent au retrait des sols gonflants. (Bell, 1987)

### **I.7.7.2 Mécanismes de retrait**

Le retrait consiste en une diminution du volume du sol due à l'évaporation de l'eau présente dans ses pores. L'assèchement progressif du sol provoque des tensions capillaires. Les tensions capillaires sont à l'origine de contraintes de cisaillement. Plus l'eau s'évapore, plus les tensions capillaires augmentent et plus le rayon des pores diminuent. Parallèlement, la résistance à la traction du sol augmente. Quand cette résistance atteint les contraintes engendrées par les tensions capillaires, le retrait s'arrête, le volume du sol ne diminue plus. (NOWAMOOZ.H., 2007).

### **I.7.7.3 Conséquences du phénomène de retrait-gonflement**

Le phénomène se manifeste par des tassements différentiels provoquant des dommages dans les constructions si les fondations et la structure ne sont pas assez rigides.

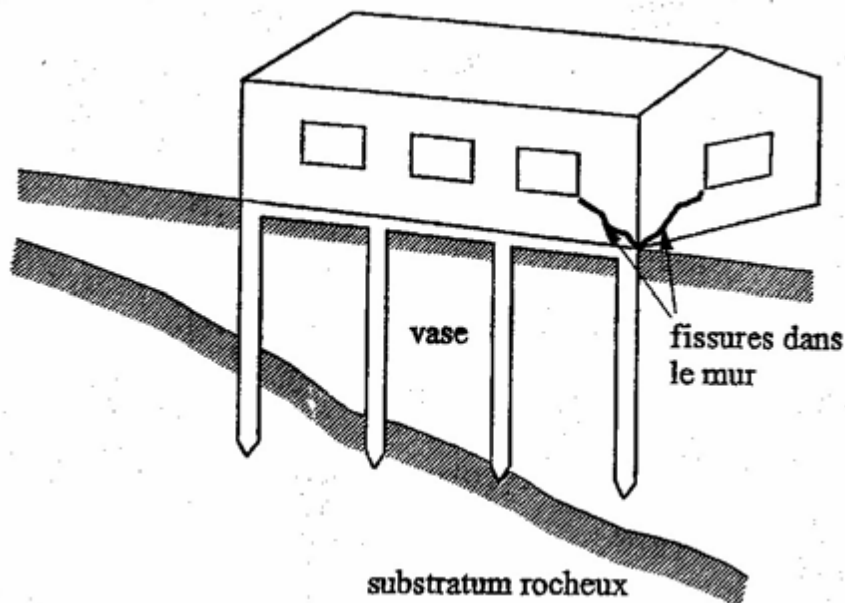
Les bâtiments, et particulièrement les maisons individuelles construits sans précautions sur sols gonflants, présentent souvent des figures de dégradation telles que fissures des murs porteurs, voire des murs de remplissage, bombement de l'éventuel radié (fissurations en façade, décollements entre éléments jointifs distorsion des portes et fenêtres, dislocation des dallages et des cloisons et, parfois, rupture de canalisations enterrées)... qui conduisent parfois à l'instabilité générale du bâtiment par rupture ou déboisement de ses éléments porteurs. (Freeah 2006).

## **I.7.8 Causes ayant rapport avec la reconnaissance du sol de fondation**

Nous pouvons dire que plusieurs désordres ont été survenus aux différentes constructions pour des causes suivantes :

### **I.7.8.1 Absence de reconnaissance préalable**

L'absence de reconnaissance de sol préalable fait échapper à l'ingénieur constructeur plusieurs paramètres utiles liés au sol de fondation ce qui peut conduire à des fondations établies à une profondeur non convenable ou à un mode de **fondation inadapté au terrain** (Figure I-26) (HAVARD.M, 1999)



**Figure I-26** la construction est fissurée car les pieux d'angle n'ont pas atteint substratum rocheux (HAVARD.M, 1999)

### I.7.8.2 Etude de sol incomplète

Un rapport d'étude de sol est parfois très superficiel, lorsqu'il se borne par exemple seulement à la détermination de la profondeur du bon sol et à sa capacité portante qui restent insuffisantes pour le choix du mode de fondation approprié ainsi que pour le choix du type de liant à utiliser pour les éléments de constructions en contact avec le sol en question.

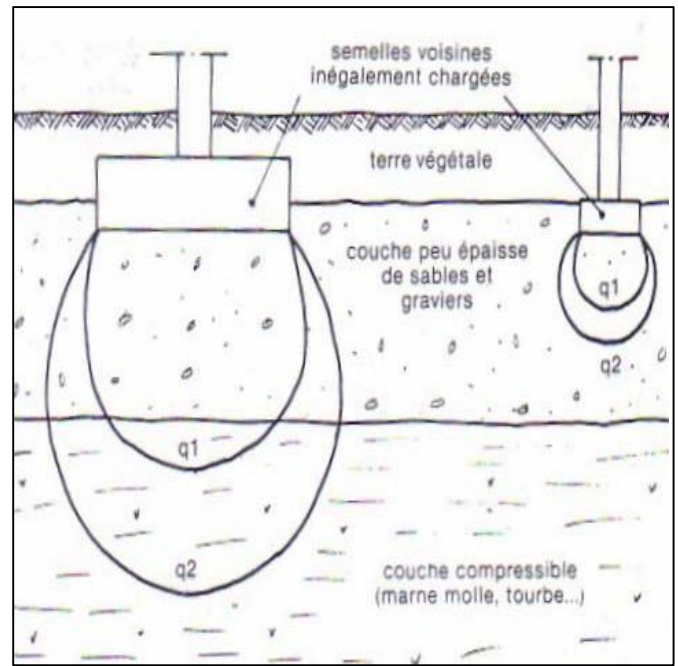
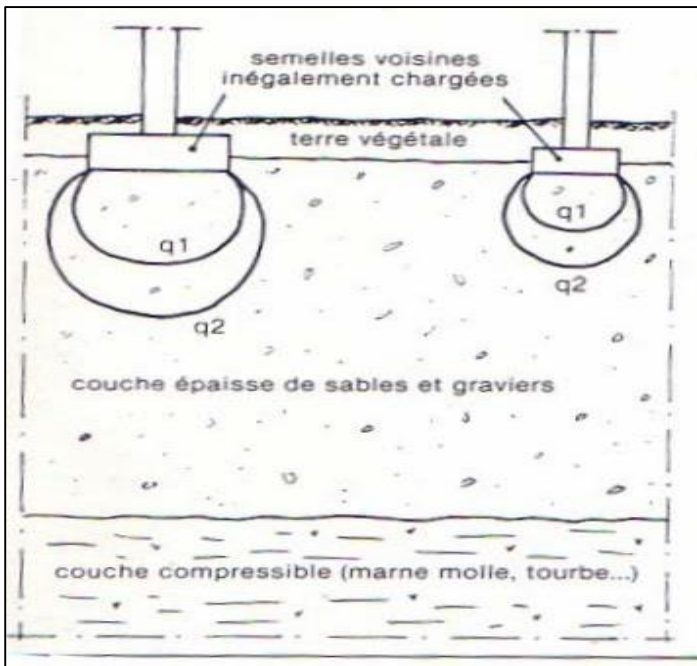
(DERARDJA, 2004)

### I.7.8.3 Causes dues à la prise en compte du seul taux de travail du sol de fondation

Il arrive parfois à l'ingénieur chargé de dimensionnement des fondations de se contenter du seul paramètre qui est la capacité portante de la couche considérée comme bon sol et ne s'intéresse pas aux couches sous-jacentes, pour ce cas particulier le problème n'est pas très graves lorsque le terrain de fondation est homogène et de bonne qualité: par exemple des semelles reposant sur une couche épaisse de sable et de gravier (Figure I-27).

Par contre, lorsque le terrain comporte en surface une couche résistante, mais relativement mince, supportée par une couche plus compressible (par exemple de la vase ou de l'argile molle, comme cela arrive souvent dans les plaines alluviales). Les semelles les plus chargées vont solliciter fortement la couche molle sous-jacente, alors que les semelles moins chargées, donc plus petites, la solliciteront moins (Figure I-28), ce qui provoque les tassements différentiels importants qui se traduiront dans le bâtiment par des fissures notables.

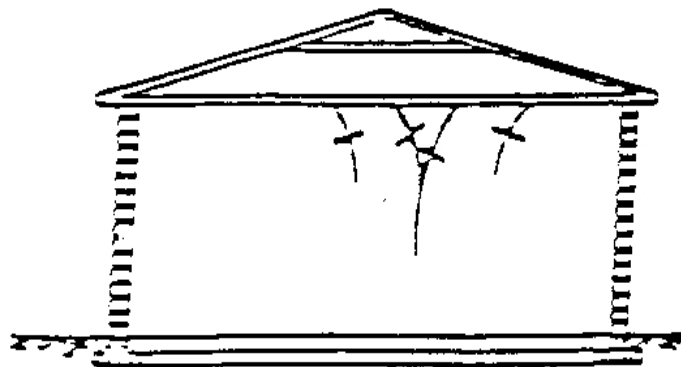
(Louis LOGAIS, 1985)



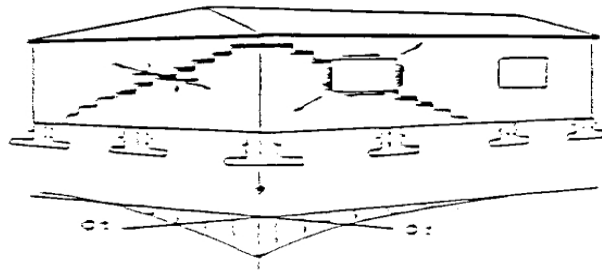
**Figure I-28** Dans ce cas, des tassements différentiels sont peu probables (Louis LOGAIS 1985)

**Figure I-27** Dans ce cas, des tassements différentiels sont inévitables (Louis LOGAIS 1985)

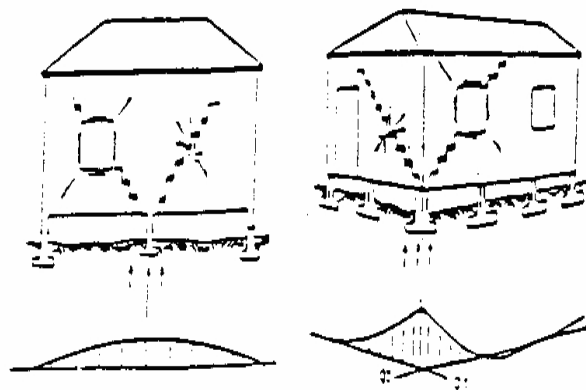
Les Figures (I-29) (I-30) et (I-31) présentent les différences relatives de mouvement provenant de l'hétérogénéité des sols de fondation, de celle des forces appliquées par la structure sur le sol, ainsi que des perturbations hydriques que le bâtiment peut engendrer.



**Figure I-29** fissures dans les murs Bâtiment sur semelles isolées. (Mouroux et al, 1988).



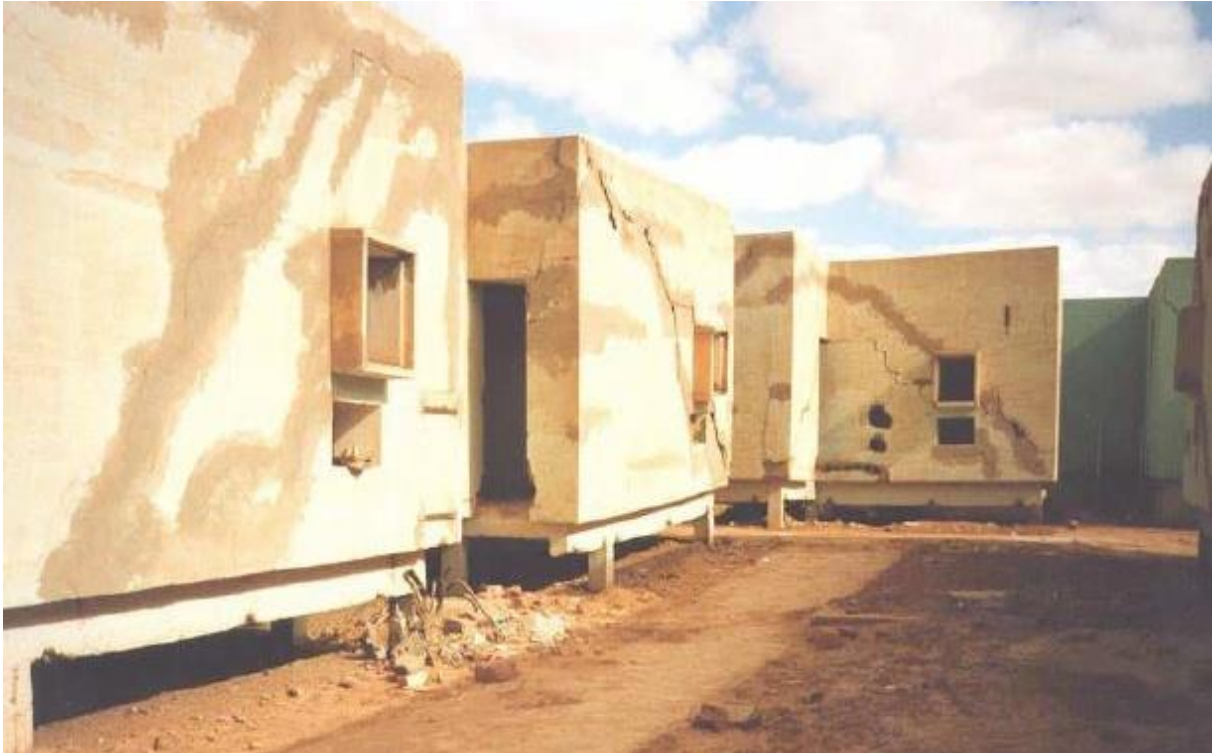
**Figure I-30** fissures dans les murs Bâtiment sur Radier général  
(Mouroux et al, 1988).



**Figure I-31** Formes et Directions de Fissuration  
(Mouroux et al, 1988).

Les figures (I-32) (I-33) (I-34) illustrent différent type de dégâts (tassements différentiel) causés à un bâtiment qui repose sur un sol sujet au gonflement ou au retrait :

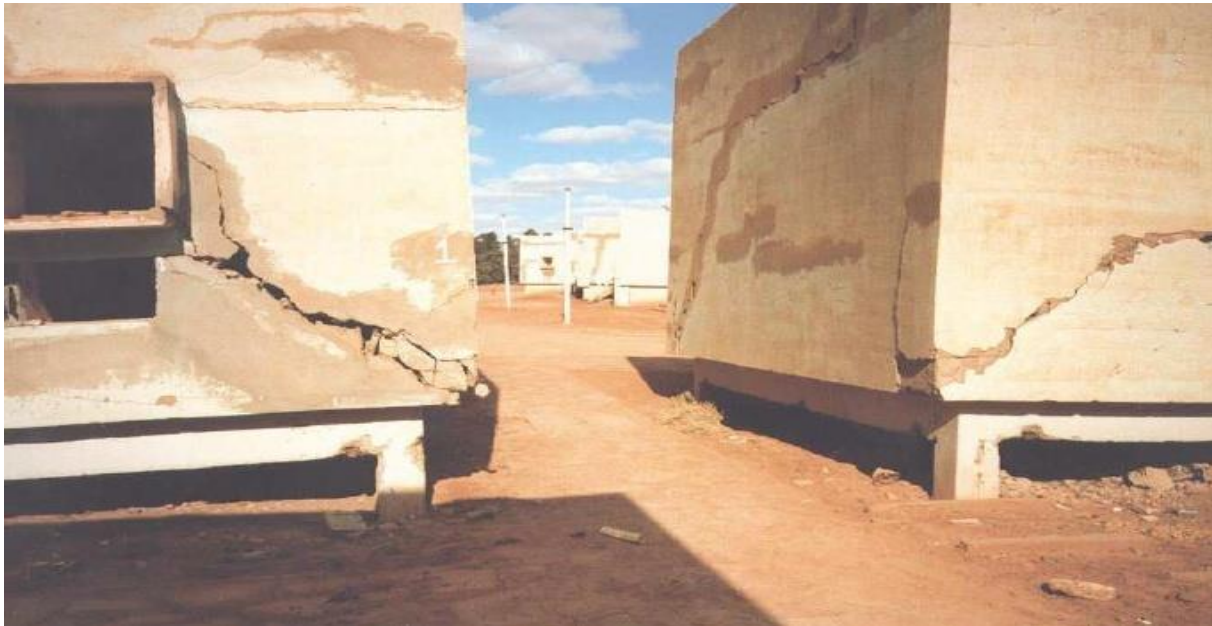




**Figure I-32** Fissures dans les murs au niveau de **la fenêtre** provoqués par des argiles gonflantes (Derriche Z et al.2002)



**Figure I-33** Fissure sur **les murs** provoqués par des argiles gonflantes (Zenkri ,2010).



**Figure I-34** Fissures **diagonales** provoqués par des argiles gonflantes (**Derriche Z et al,2002**)

## I.8 Autres cause de dégradation liés à la conception

### I.8.1 Manque d'entretien

La planification d'un programme d'entretien périodique des ouvrages en béton armé représente une pratique très efficace pour retarder l'apparition des dégradations ou pour réparer les petites détériorations avant de leur extension aux autres parties des structures attaquées. De plus, un bon programme d'entretien peut augmenter la durée de vie d'un ouvrage.

**Exemple Figure (I-35) :** Poutre de pont dont l'appui mobile est bloqué.

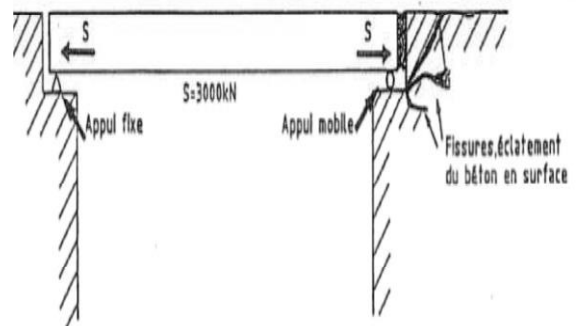
**Problème :** Poutre de pont dont l'appui mobile est

bloqué

Le joint entre le sol et la poutre de pont est remblai de boues et de pierres

**Cause de blocage de l' appui :** le manque d'entretien périodique du pont.

**Conséquences :** Ecrasement local et fissuration du béton de culée → accès de l'eau aux armatures et ruine de l'appui. (**Layachi.G ,2019**)



**Figure I-35** Dégradation de pont à cause de manque d'entretien (**Layachi.G ,2019**)

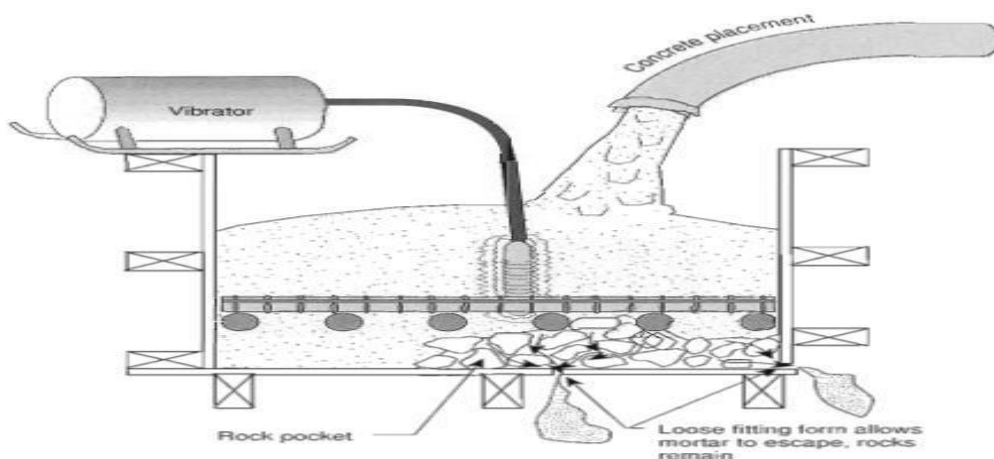


### I.8.2 Défauts de mise en œuvre

La méthode de mise en place appropriée du béton permet non seulement d'obtenir de béton de bonnes propriétés physico-mécaniques, mais aussi renforce leur résistance aux différentes attaques physico-chimiques. Si les méthodes de mise en place et de mûrissement ne permettent pas au béton de développer toutes ses qualités, la durabilité de l'ouvrage pourra être considérablement réduite. (Emmons.P.H,1994)

Les principaux points à surveiller concernant la mise œuvre sont :

- ❖ Les méthodes de mise en place du béton : Il faut adopter une technique appropriée de mise en place du béton dans les coffrages pour éviter la ségrégation **La Figure (I-36)** ci-dessous. Il faut aussi surveiller les techniques de finition de surface.



**Figure I-36** la ségrégation dans un élément de béton armé (Emmons.P.H ,1994)

- ❖ La mise en place des aciers d'armature
- ❖ Les méthodes de mûrissement et de cure : Une mauvaise technique de mûrissement réduit presque toujours la capacité du béton à résister à la plupart des types d'agressions.

### I.8.3 Propriétés du béton et des matériaux

Les propriétés du béton ont une influence directe sur la durabilité de l'ouvrage par exemple une forte perméabilité accélère la carbonatation donc la corrosion des armatures. Pour fabriquer un ouvrage durable, il faut donc utiliser un matériau durable. Les caractéristiques du

béton qui contrôlent sa durabilité peuvent être regroupées en deux grandes familles :

[Université de Sherbrooke, GCI 714 «Durabilité et réparation du béton», 338 p.]

**a) Influence des propriétés des matériaux entrant dans la fabrication du béton**

Les propriétés du béton ont une influence directe sur la durabilité de l'ouvrage, dont la composition chimique et minéralogique déterminant sa sensibilité à un environnement, et la microstructure avec des facteurs de transfert interne. (Haouara, 2004).

**1. Type de ciment (exemple) :**

Certains types de ciment offrent de meilleures performances en présence d'eau de mer, En milieu marin, il peut être nécessaire d'utiliser un ciment type à faible teneur en C3A.

**2. Type de granulats (exemple) :**

Il existe des granulats qui peuvent réagir avec les alcalis du ciment pour former des produits expansifs qui peuvent faire fissurer le béton (réaction alcalis-granulats).

**3. Ajouts minéraux :**

Les ajouts minéraux peuvent modifier considérablement le comportement du béton exposé à un environnement donné. Ils peuvent parfois améliorer ou diminuer la durabilité du béton. Les effets sont fonction du type et du dosage de l'ajout minéral. (Layachi.G, 2019)

**b) Influence Caractéristiques mécaniques du béton et paramètre de formulation**

**1. Résistance en compression et résistance à la traction :**

Une résistance à la compression élevée est généralement un indice de bonne qualité du béton. Une bonne résistance à la traction est souhaitable pour la résistance au gel.

**2. Choix du rapport eau/ciment (E/C) ou eau/liant (E/L) :**

Elle est généralement le signe d'un rapport E/Cou (E/L) faible qui produit généralement une pâte de ciment durcie de meilleure qualité (porosité et perméabilité plus faibles).

[Université de Sherbrooke, GCI 714 – «Durabilité et réparation du béton»]

## **I.9 Conclusion**

Après avoir évoqué les différentes causes de dégradations, nous pouvons dire que la durabilité c'est une chaîne qui part du concepteur qui doit connaître les limites du matériau, passe par le calculateur qui doit connaître les règles de dimensionnement et s'intéresser à l'élaboration de plans allant au détail de toutes les opérations de fabrication et de réalisation.

Pour obtenir un ouvrage durable, il faut :

- Utiliser un matériau durable
- Concevoir la structure en fonction des facteurs environnementaux
- Exercer un bon contrôle de la qualité des matériaux et des techniques de construction.

Un diagnostic préalable de l'ouvrage constitue la base nécessaire pour le choix d'une stratégie de réparation adéquate et pour permettre une évaluation plus précise des coûts. Les divers matériaux et méthodes à assurer la réparation des ouvrages dégradés font l'objet de la prochaine partie.

**Chapitre II**  
**Procédés de diagnostic et**  
**Techniques de réparation et de**  
**renforcement**

## A : Procédés du diagnostic

### II.A. Procédés du diagnostic

#### II.A.1 Introduction

L'état des éléments de construction faisant partie d'un immeuble se dégrade de façon naturelle en ce qui concerne la qualité physique ou le rendement. A part du processus naturel du vieillissement, des pannes imprévues et des dysfonctionnements peuvent se produire étant qualifiés de pathologie du bâtiment. C'est pour cela que le propriétaire et l'utilisateur d'un immeuble doivent établir d'urgence et mettre en œuvre un système de maintenance en vue de prévenir les pannes qui peuvent avoir un impact sur le fonctionnement, l'utilisation et la valeur de l'immeuble ou atténuer leurs conséquences. La Figure (II.A-1) ci dessous montre que : un système de surveillance et maintenance efficace pourra prolonger la durée de vie de tout immeuble presque à l'infini à condition que sa construction portante soit suffisamment solide.

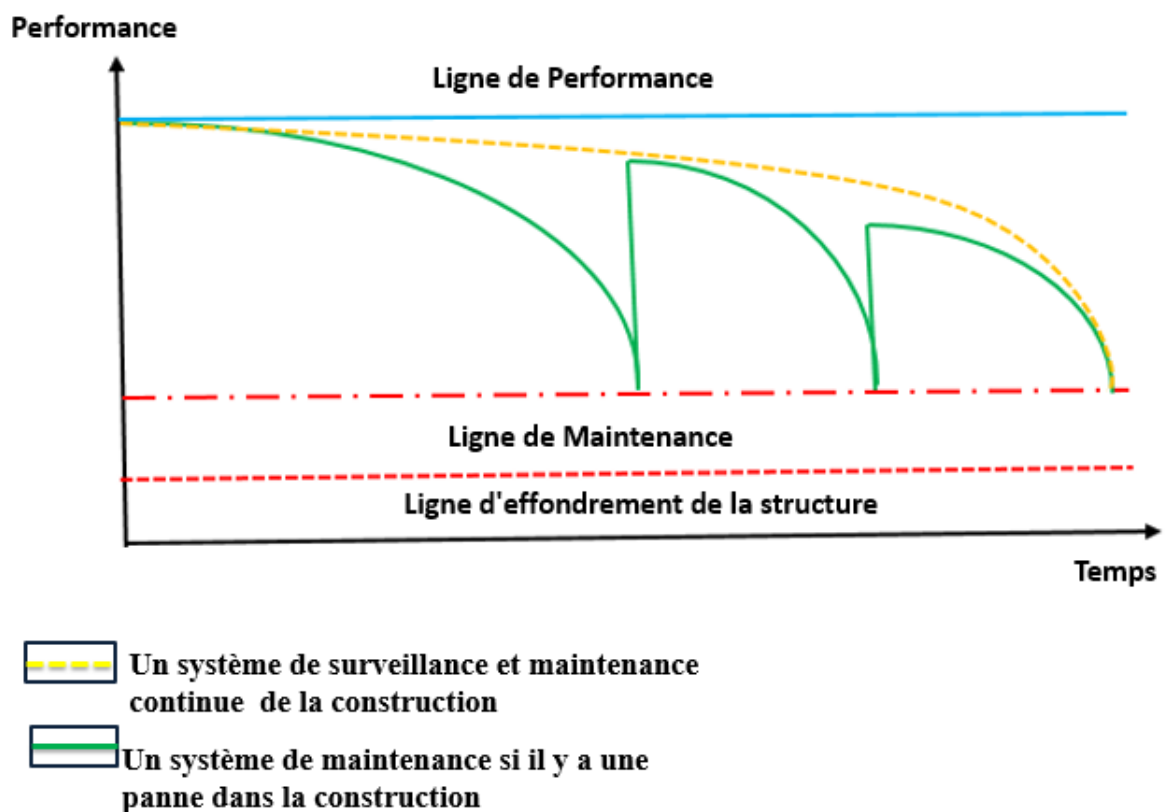


Figure II.A. 1 l'importance de surveillance et maintenance de la construction

Pour cela le diagnostic d'un ouvrage est un élément très important dans le processus de réhabilitation des ouvrages. Il permet avant tout de se prononcer son état de fonctionnement et de voir quelles sont les éventuelles pathologies ainsi que leur ampleur (**MOALIC L.A,2011**).

Une telle inspection permet de déceler et ralentissez d'éventuels désordres. Quand un désordre est constaté, des investigations permettent de recueillir des informations de nature à l'expliquer, donc l'interprétation de ces informations constitue le diagnostic.

La pose d'un diagnostic est une affaire de spécialiste qui nécessite le recours à des techniques d'investigation in situ et également à des essais de laboratoire. L'objectif ultime du diagnostic est d'émettre un avis technique quant à la méthode de protection et de réparation des structures en béton (**MARC.D**)

Avant d'entreprendre des travaux de réparation il faut donc prévoir une campagne d'évaluation la plus détaillée possible de l'état de la structure. Le but de la campagne d'évaluation est d'obtenir des informations sur l'étendue des dommages et d'établir les causes des dégradations.

La campagne d'évaluation fait partie d'un processus, constitué de plusieurs étapes, qui permettra de choisir la ou les méthodes de réparation les plus appropriées en fonction du type de dégradation.

## **II.A.2. Diagnostic**

### **Définition**

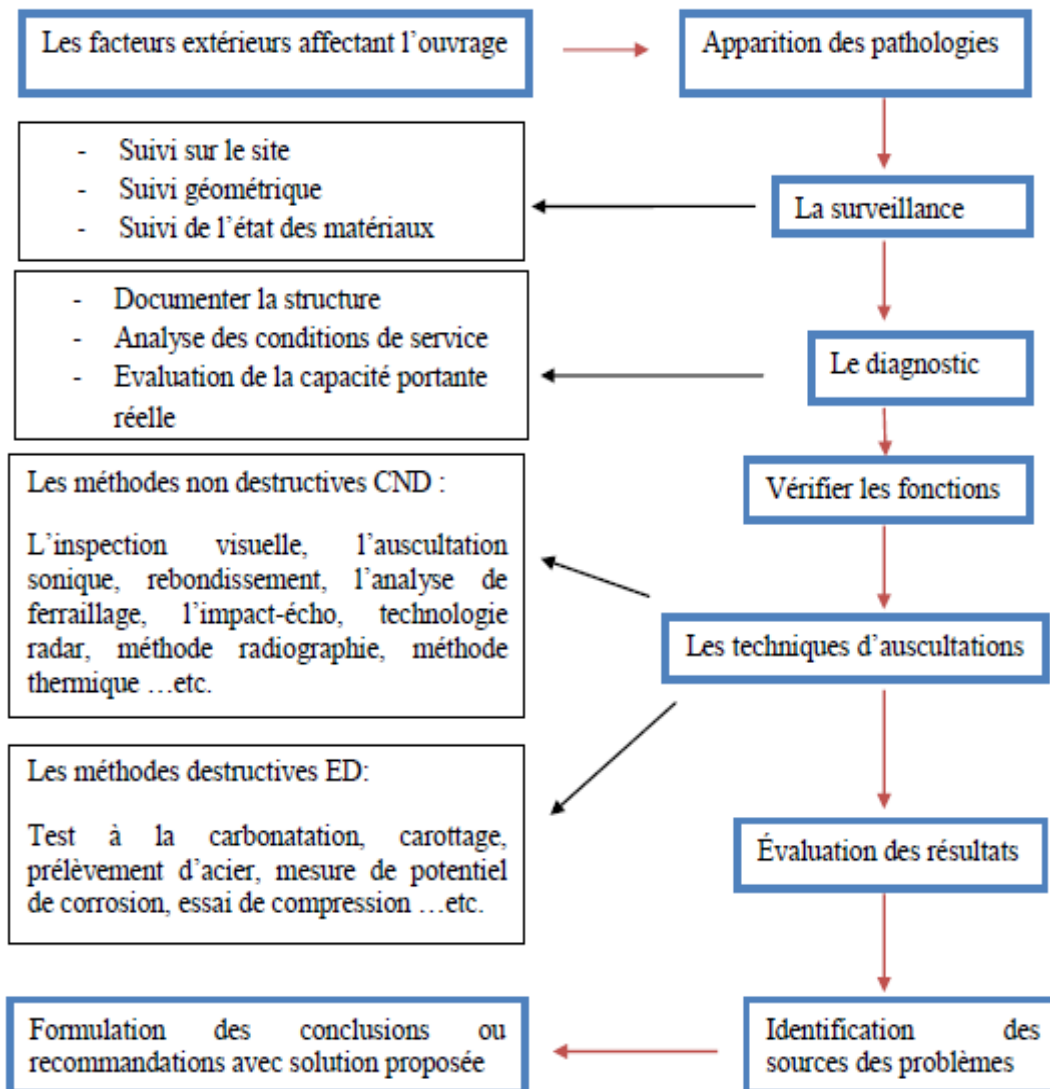
Le diagnostic est un ensemble de techniques élaborées dont l'objectif est d'évaluer l'état de matériau dans une structure donnée, tout en évaluant la stabilité globale et partielle de cette structure. Pour pouvoir analyser, déterminer les causes affectant cette conception, et envisager à la fin une intervention et réparation avec succès. (**CHABBI.R et al 2018**)

Le diagnostic d'un ouvrage de génie civil consiste à :

- déterminer le niveau de sécurité de l'ouvrage, relevé ses point de faiblesse, ses défaut et ses dysfonctionnements.
- Définir judicieusement les travaux que permettent de remédier aux insuffisances constatées.

### II.A.3. Le processus de diagnostic d'un ouvrage

La Figure II.A-2 ci-dessous résume le processus d'un diagnostic :



**Figure II.A. 2** Schéma des étapes de diagnostic d'un ouvrage en béton armé. (CHABBI.R et al 2018)

### II.A.4. Les principales étapes d'un diagnostic

Une campagne d'évaluation est généralement nécessaire pour évaluer la performance des structures détériorées ou très âgés. Cette étape est souvent effectuée à la demande de l'ingénieur spécialiste qui désire évaluer l'intégrité structurale de l'ouvrage.

Les campagnes d'évaluation peuvent comporter 5 grandes étapes :

- Dossier de documentation sur l'ouvrage
- Analyse des conditions de service
- Visite du site
- Évaluation détaillée
- Évaluation des données recueillies

#### **II.A.4.1. Dossier de documentation sur l'ouvrage**

Cette étape consiste à rassembler toutes les informations disponibles concernant la conception, la construction, l'utilisation et l'entretien de la structure :

- Spécifications d'origine
- Plans, photos
- Dossier de construction, de surveillance
- Rapports d'essais sur les matériaux
- Changements effectués durant la construction
- Réparations antérieures : Causes, méthodes utilisées et matériaux utilisés.

#### **II.A.4.2. Analyse des conditions de service**

Cette étape consiste d'abord à évaluer dans quelle mesure la fonction actuelle de la structure (conditions de service) correspondent aux spécifications d'origines.

L'analyse détaillée des conditions de service est une des étapes les plus importantes de la campagne d'évaluation. Très souvent, les principales causes des dégradations sont directement liées aux conditions de service.

#### **II.A.4.3. Visite du site**

Il est généralement conseillé de prévoir des schémas ou des plans simplifiés qui pourront être utilisés pour localiser les principaux problèmes observés lors de la visite du site

Les activités suivantes peuvent être effectuées sur le site :

- Observations visuelles
- Prise de photos
- Identification et localisation des zones fortement sollicitées



- Observation des zones critiques (joints, appuis, système de drainage, etc.)
- Localisation des fissures, des délaminations et des autres types de dégradations
- Mesures des ouvertures et des longueurs des fissures.

**Note :**

La visite sur le site peut permettre à l'ingénieur de déterminer dans quelle mesure il est nécessaire d'entreprendre un programme d'investigation plus détaillé.

**II.A.4.4. Évaluation détaillée**

L'évaluation détaillée peut comporter les activités suivantes :

- Essais non destructifs
- Campagne de carottage
- Cartographie des fissures
- Instrumentation (déplacements, efforts, température, humidité, écoulements)
- Programme des essais à effectuer sur les échantillons prélevés par carottage
- Programme d'essais in situ

**II.A.4.5. Évaluation des données recueillies**

Cette étape consiste à évaluer et analyser l'ensemble des données (techniques, visuelles, historiques, climatiques) obtenues sur le site et au laboratoire. [[Université de Sherbrooke GCI 714 - Durabilité et réparations du béton](#)]

**II.A.5. Rapport d'un diagnostic**

Le rapport de diagnostic présente l'ensemble des résultats et leur interprétation, Il comprend :

- l'identification de la structure, le nom du demandeur,
- l'identification du laboratoire (ou de l'ingénieur) charge de l'étude, la date,
- une brève description de la structure,
- le rappel des objectifs de l'étude,
- la liste des documents consultés,
- les résultats de l'inspection détaillée,
- les résultats des essais in situ et de laboratoire,
- une discussion sur l'origine des désordres, leur étendue, leur évolution probable, et leur incidence sur la sécurité,
- des conclusions claires sur les désordres constatés et des propositions éventuelles de complément d'étude,

- une liste des priorités des réparations et travaux à effectuer,
- des recommandations relatives aux méthodes de réparation. [Université de Sherbrooke GCI 714 - Durabilité et réparations du béton]

### II.A.6. Choix des investigations

Le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend de plusieurs paramètres. Il est nécessaire de les évaluer afin de mettre en œuvre mission. Ces différents paramètres sont les suivants (la Figure 0.A-1) :

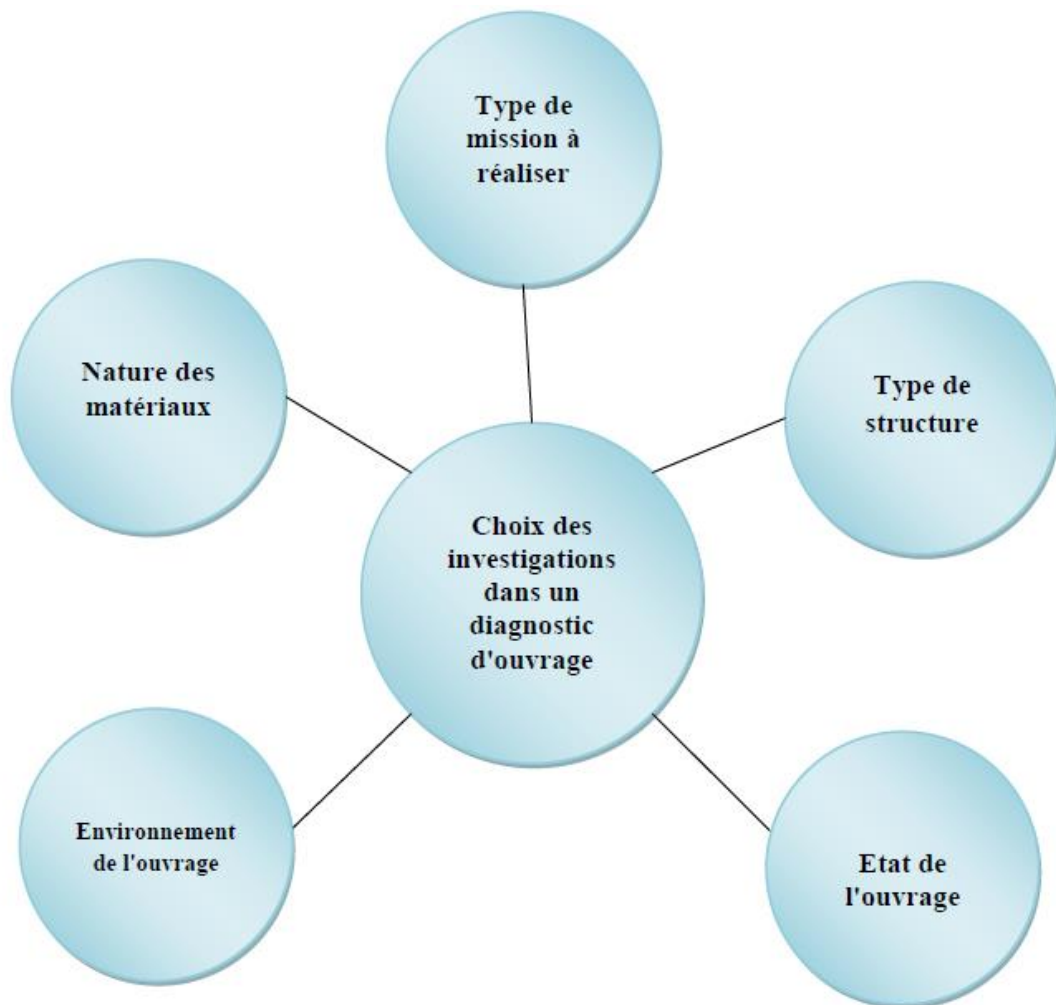


Figure II.A. 3 Schéma du choix d'investigation

Le choix des investigations dépend de :

❖ **Type de mission à réaliser :**

Diagnostic de maintenance en vue d'éventuelles réparations, diagnostic structure pour un calcul de résistance ou encore évaluation des risques vis-à-vis des biens et des personnes.

❖ **Nature des matériaux :**

Les matériels et techniques utilisés pour réaliser le diagnostic ne sont pas les mêmes si l'on a à faire à du béton, de l'acier, du bois ou encore de la pierre.

❖ **Type de structure :**

Géométrie et taille de l'ouvrage.

❖ **Etat de l' ouvrage :**

Les investigations dépendent des désordres qui affectent l'ouvrage. On aura par exemple recours à un matériel particulier en présence de fissures ou d'armatures corrodées dans le béton.

❖ **Environnement de l'ouvrage :**

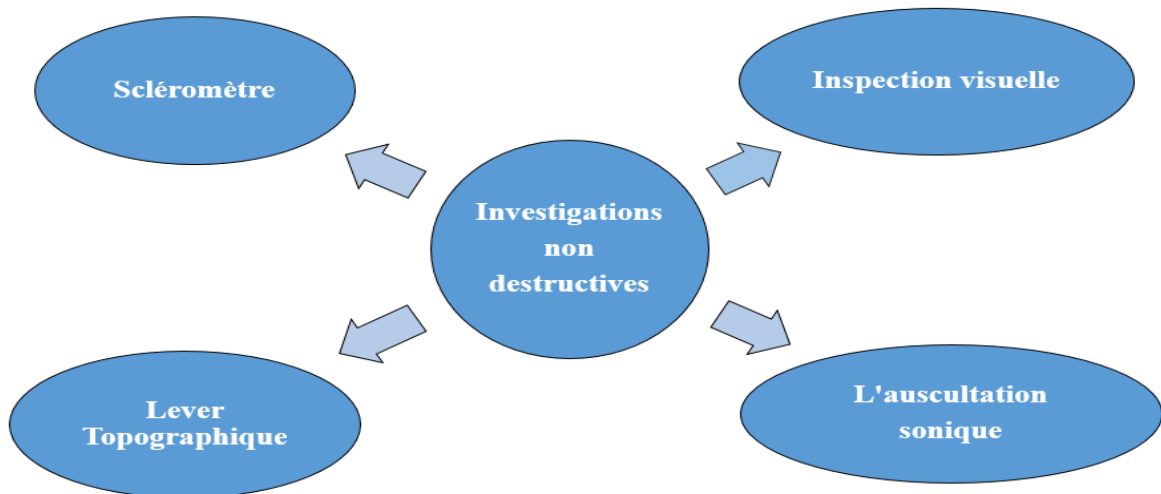
L'étude porte également sur l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage car certains désordres y sont parfois directement liés. C'est ainsi fréquemment le cas pour les structures soumises à des attaques chimiques. De plus, les accès limités voire impossibles sur une partie de la structure peuvent être un frein à la réalisation d'investigations et nécessiter l'utilisation de moyens spécifiques (nacelle, échafaudages, etc.). (SALHI, 2014)

### **II.A.7. Type d'investigation**

Il est possible de classer les différentes investigations en deux catégories : soit les méthodes non destructives, soit les méthodes destructives. Les principales méthodes rencontrées lors de diagnostics sont décrites dans la suite :

### II.A.7.1. Méthodes et essais non destructifs (NDT)

Pour interpréter correctement les résultats de n'importe quel type d'essai, il faut bien connaître ce qui est effectivement mesuré et les limites de validité des résultats. Il existe une très grande variété de méthodes non destructives (in situ) permettant d'évaluer de nombreuses caractéristiques du béton. (Voir **Figure II.A.4**) :



**Figure II.A. 4** Schéma des investigations non destructives

#### A. Inspection visuelle :

Le principe du diagnostic visuel est d'aller sur le site pour voir et détecter tous les signes de détérioration et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres tels que :

- Les fissures avec leur ouverture et leur longueur.
- Les fractures avec leur ouverture, décalage ou rejet.
- La présence de coulures de calcite.
- Les zones d'altération superficielles et profondes.
- Les zones humides ainsi que les zones de mousses ou de végétation.
- Les zones de faïençage.
- Les éclats de béton en formation ou profonds ainsi que la présence d'aciers apparents.
- Les zones de ségrégation.

Tous ces éléments doivent être répertoriés sur des plans.

### B. L'auscultation sonore :

Ces mesures visent à caractériser l'état d'altération et l'homogénéité physique du béton composant les structures d'un ouvrage.

En effet, cette méthode de diagnostic permet entre autres de localiser des défauts, des vides ou autres malfaçons dans le béton. Le principe est que les lames d'air emprisonnées dans le matériau transmettent très peu l'énergie des ultrasons, ainsi, la vitesse mesurée sur l'ensemble de l'élément sera plus faible que pour un béton homogène.

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation d'ultrasons traversant le matériau à l'aide d'un générateur d'ondes et d'un récepteur. Globalement, plus la vitesse de propagation est élevée et les incertitudes faibles, plus le matériau est de bonne qualité, à savoir homogène. (LATASTE J.F.)

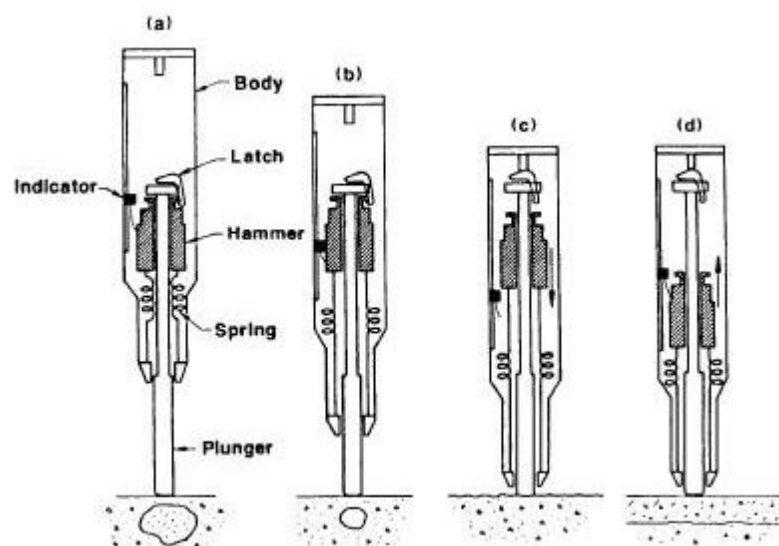
### C. Essai sclérométrique

L'essai au scléromètre est destiné à mesurer la dureté superficielle du béton pour évaluer l'homogénéité surfacique de sa qualité sur un ouvrage.

Il consiste à projeter une masse donnée contre un parement par l'intermédiaire d'un ressort. La réaction résultant du choc donne l'indice sclérométrique qui est corrélé en fonction de l'inclinaison de la surface, **La Figure II.A-5** explique le principe du scléromètre.

Cet essai est peu coûteux, simple et rapide mais ne peut être utilisé que de manière qualitative sur des bétons anciens, de nombreux paramètres influençant le résultat (carbonatation par exemple).

(Norme NF EN 12504-2)



**Figure II.A. 5** Représentation schématique d'un scléromètre  
(Malhotra, V. M. and Carino 1991)

### D. Lever Topographique (Suivi topographique) :

Suivi topographique : il est nécessaire de suivre la géométrie générale de l'ouvrage et son nivellement. Par exemple, lorsque des désordres se produisent dans les fondations d'un ouvrage, ils engendrent des mouvements d'appuis. Le suivi doit comporter la vérification périodique de la stabilité des appuis par des levés topographiques. (Haouara,2004).

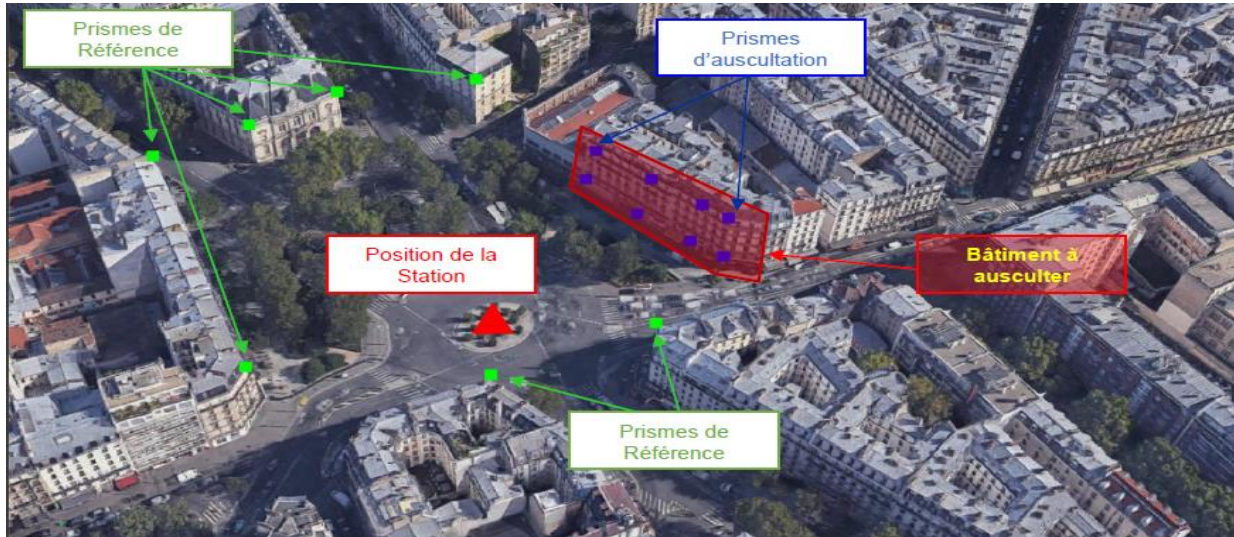


Figure II.A. 6 Exemple d'une auscultation par station totale et les différents *prismes* (Note Technique Auscultation2020)

### E. Pose de capteurs (fissuromètres) :

Ils permettent de suivre l'évolution de la fissuration. Parfois le béton présente des fissures ou des gonflements dont on souhaite connaître l'évolution.



Figure II.A. 7 Fissuromètre (SALHI, 2014)



La pose de capteurs permet de suivre l'évolution de ces fissures dans le temps. (SALHI, 2014)

### F. Échantillonnage du béton

L'échantillonnage du béton (carottage, sciage) constitue une étape importante du processus d'évaluation in situ de la structure.

Le prélèvement constitue une phase délicate du diagnostic du béton. Le nombre et le type d'échantillons sont choisis en fonction des données fournies par l'inspection du site et par le type d'analyse à effectuer en laboratoire.

La dimension (diamètre) des carottes est généralement fonction de la dimension maximale des granulats. Il est important de bien identifier les carottes pour pouvoir retrouver leur localisation dans l'ouvrage.

Il est généralement utile de prélever des carottes non seulement dans les parties les plus détériorées mais aussi dans les parties saines. L'analyse comparative des résultats d'essais facilite souvent l'identification des causes des dégradations. (Clément 2011)

#### II.A.7.2. Investigations destructives (Analyse en laboratoire)

Lorsque cela est possible, il peut s'avérer utile d'avoir recours à des essais destructifs. Ces méthodes permettent généralement de faire des prélèvements et de connaître la nature des matériaux présents leurs caractéristiques mécaniques et chimiques. L'évaluation en laboratoire commence généralement par une description des échantillons (types, dimension, provenance, etc.)

Les techniques les plus fréquemment mises en œuvre sont :

- **La mesure de la profondeur de carbonatation** : elle est mesurée à l'aide d'un indicateur de pH phénolphthaléine ou alizarine qui virent respectivement de l'incolore au rouge et du rouge au pourpre.
- **L'analyse microscopique** : elle permet l'identification des composants et de leurs proportions initiales, une estimation du rapport E/C, la mise en évidence de réactions secondaires (carbonatation, sulfates, alcali-granulats) et de rendre compte de certaines agressions chimiques.
- **Des essais mécaniques** : des facteurs tels que la porosité de surface ou à cœur et l'absorption d'eau sont des renseignements utiles pour cerner les mécanismes mis en jeu dans la détérioration des bétons.

- **Des essais chimiques** : le dosage des chlorures permet souvent d'expliquer la dégradation des armatures pour des ouvrages soumis aux sels de déverglaçage ou dans un environnement marin.  
([www : diagnostic-béton](#))

### II.A.8.Conclusion

Dans cette partie nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur.

Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles. Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes.

L'objectif final du diagnostic est de proposer en connaissance un avis sur les principes qui doivent guider les chercheurs, les bureaux d'études dans leurs choix de méthode de protection et de réparation des structures en béton pour obtenir des ouvrages durable.



## **B : Techniques de réparation et de renforcement**

### **II.B. Techniques de réparation et de renforcement**

#### **II.B.1. Introduction**

Le choix d'une ou des méthodes de réparation et de renforcement est défini en relation étroite avec la nature et le degré d'importance des désordres constatés lors d'un diagnostic.

Ce choix est tributaire de matériaux de construction utilisés, des techniques choisies, et de critères économiques.

On peut être amené donc à procéder :

✓ A des remises en état d'éléments structurels présentant des défauts que l'on cherche à atténuer, pour obtenir un aspect satisfaisant tels que : l'obturation de fissures qui sont dues le plus souvent au retrait et aux variations environnementales.

✓ Au **renforcement** ou à la **réparation** d'éléments insuffisamment résistants, les réparations sont souvent réalisées dans les zones ou les sections sont trop sollicitées et défailantes, par contre le renforcement des éléments consiste à améliorer leurs caractéristiques mécanique de manière à ce qu'elles offrent une meilleure solidité aussi bien en état de service qu'en état de résistance ultime.

#### **Réparation**

**Définition :** La réparation d'une construction est une opération qui consiste à lui restituer par des travaux appropriés, un niveau de service perdu.

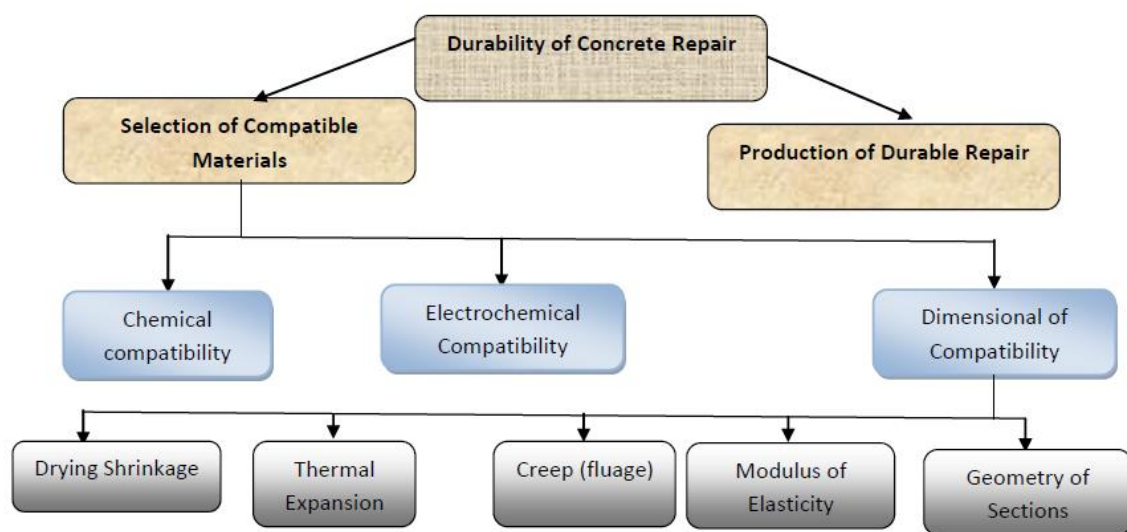
#### **Renforcement**

**Définition :** Le renforcement est une opération qui consiste à augmenter le niveau de service ou performance mécanique d'une construction (augmentation de ductilité, de la résistance...).

La fabrication d'une réparation durable repose sur une sélection appropriée des matériaux de réparation et sur leur utilisation selon les règles de l'art. Néanmoins, le choix des matériaux et n'est cependant pas la seule étape importante du processus de réparation. Il faut aussi porter une attention particulière à la préparation des surfaces, aux techniques d'application et de mûrissement et au contrôle de qualité.

## II.B.2. Principes de bases d'une réparation durable

De nombreux cas de réparations déficientes sont dus à un mauvais choix des matériaux de réparation. En outre, les experts de réparation de béton et des structures en béton armé ont constaté que les échecs résultent de l'utilisation de matériaux incompatibles avec le substrat ou avec les conditions d'exposition. La compatibilité se définit comme un équilibre entre les propriétés physiques, chimiques et électrochimiques du matériau de réparation et du vieux béton existant. Les principaux facteurs contrôlant la durabilité des réparations et les différents paramètres de compatibilité sont présentés à la figure II.B-1 (Emmons, P.H et al. 1993)



**Figure II.B. 1** Principaux facteurs contrôlant la durabilité des réparations. (Emmons, P.H et al. 1993)

### II.B.2.1. Compatibilité chimique

On doit tenir compte, entres autres, du contenu en alcali, du contenu en C3A, de la teneur en chlorures du matériau de réparation ou de vieux béton. Tous ces paramètres cités peut causer l'incompatibilité chimiques entre le vieux béton et le nouveau béton de réparation et produit l'échec de l'opération de réparation de béton. Certains matériaux de réparation avec un PH modéré ou faible ne sont pas en mesure d'offrir une protection adéquate des aciers d'armature.

### II.B.2.2. Compatibilité électrochimique

On doit tenir compte dans cette type de compatibilité la résistivité électrique, l'équilibre Cathode/Anode et le PH (de vieux et de nouveau béton). La réparation d'une partie large de zone anodique peut augmenter le rapport cathode/ anode et accélérer considérablement le processus de corrosion à la périphérique de la zone réparée.

### II.B.2.3. Compatibilité dimensionnelle

La compatibilité dimensionnelle est un des paramètres les plus importants de la durabilité des réparations. Une incompatibilité dimensionnelle peut affecter la durabilité ou la capacité structurelle d'une réparation. (Layachi.G ,2019) et (Université de Sherbrooke, GCI 714 – «Durabilité et réparation du béton»,)

### II.B.3. Les matériaux de réparation

Les matériaux de réparation ou de renforcement des constructions les plus utilisés sont suivants : les mortiers de ciment Portland, mortiers époxydiques, mortiers coulis/expansifs, bétons conventionnels...etc. (KREIT.A ,2012)

#### II.B.3.1. Mortier de ciment Portland

Les mortiers de ciments Portland sont utilisés seulement pour réparer des défauts de surface mineurs (pas de conséquences critiques sur la performance de la structure) pas plus de 24 h après le décoffrage. Ils ne devraient jamais être utilisés pour réparer des surfaces de vieux béton (fissuration due au retrait empêché).

#### II.B.3.2. Mortiers époxydiques

Les mortiers époxydiques sont constitués d'un mélange de sable et de liant époxydique. Ces mortiers sont généralement appliqués sur une mince couche de liant d'accrochage à base de résine époxy. Il est composé de Trois composants : **résine, durcisseur, sable**. Ces produits peuvent être utilisés lorsque la profondeur de la réparation est d'environ 40 mm ou moins (ou lorsque la surface à réparer est relativement petite < 1000 cm<sup>2</sup>).

#### II.B.3.3. Mortiers/coulis expansifs

##### 1. Expansion par formation de bulles de gaz :

Ces produits contiennent des ingrédients qui génèrent des bulles de gaz peu de temps après le contact avec l'eau de gâchage. Des poudres d'aluminium ou de carbone sont généralement utilisées pour produire les bulles de gaz, afin de compenser toute forme de retrait pouvant se produire durant la phase plastique du matériau. Ces produits sont parfois très sensibles à la température car l'expansion peut survenir très rapidement (avant la mise en place) lorsqu'il fait très chaud.

##### 2. Expansion par le sulfoaluminate :

Contrairement au cas précédent (bulles de gaz), l'expansion des produits contenant des sulfoaluminates survient après la prise et pendant la phase de durcissement. L'expansion peut être obtenue en utilisant un ciment à retrait compensé (type K) ou en ajoutant un agent d'expansion à base de sulfoaluminate

(dosage de 6% à 10% en masse de ciment). L'expansion survient lorsque le sulfoaluminate de calcium anhydre (CSA) se transforme en ettringite.

#### **II.B.3.4 Bétons conventionnels**

Les réparations profondes en béton conventionnel sont généralement utilisées lorsque la surface à réparer est plus grande que 1000 cm<sup>2</sup> et que la profondeur dépasse 150 mm ou lorsque la profondeur de la réparation dépasse de 25 mm le niveau inférieur des aciers d'armature. Il s'agit d'un matériau de réparation très économique.

Il est préférable d'amener la surface du vieux béton à l'état avant d'appliquer le nouveau béton (pré-saturation de plusieurs heures)

Les bétons conventionnels peuvent être utilisés avec plusieurs types de techniques de mise en place :

- Utilisation de coffrages conventionnels
- Projection par voie humide
- Projection par voie sèche
- Pompage

#### **II.B.3.5. Bétons et mortiers au latex**

Le Latex est une émulsion aqueuse de caoutchouc synthétique obtenue par polymérisation. Il remplace l'eau dans les bétons ou mortiers modifiés au latex employés comme matériau de réparation dans les projets de réhabilitation ou comme chape. Ces produits sont fréquemment utilisés pour réparer des défauts de surface sur des murs, des trottoirs, des dalles, etc.

Les bétons et mortiers au latex sont reconnus pour leur très grande durabilité. Les mortiers au latex peuvent être mis en place en couches de 12 à 50 mm d'épaisseur (horizontalement ou verticalement). Un latex synthétique est ajouté à un mortier ou un béton de ciment portland conventionnel.

Pour fabriquer un béton modifié au latex, il suffit essentiellement de combiner un latex polymère à un mélange de béton classique

Les surfaces à réparer doivent être maintenues dans un état saturé pendant au moins 12 h avant l'application du mortier ou du béton au latex. La réparation doit être protégée des rayons directs du soleil. Il est important d'assurer un bon mûrissement humide pendant au moins 24 h (72 h pour les mortiers). **(JOSEPH ABOU ZEID 2016)**

### II.B.3.6. Béton projeté

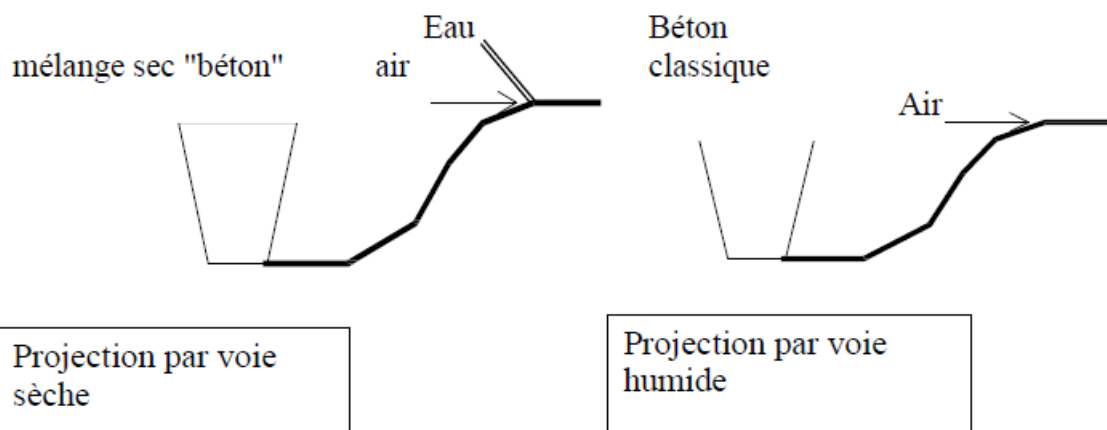
La réparation à l'aide de béton projeté consiste à piquer les zones dégradées et à projeter sur l'ensemble de l'ouvrage du béton **figure II.B-2**. Il existe deux méthodes d'application du béton projeté : soit par voie humide, soit par voie sèche. La seule différence entre ces deux méthodes réside dans le moment où l'on ajoute l'eau. Pour le béton projeté par voie sèche, l'eau est ajoutée au dernier moment au niveau de la lance alors que par voie humide, l'eau est introduite lors du malaxage du béton.



**Figure II.B. 2** Renforcement au moyen de béton projeté. (Ouzaa Kheira, 2014)

Faut distinguer deux techniques de projection, suivant le moment d'introduction de l'eau dans la chaîne :

- ✓ par voie sèche avec ou sans pré-mouillage : l'eau est introduite au niveau de la lance.
- ✓ par voie mouillée : l'eau est introduite au malaxage du béton. **Figure II.B-3**

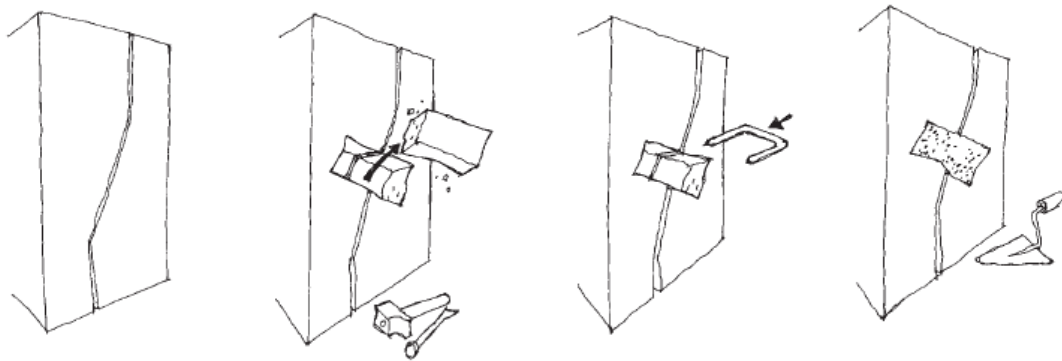


**Figure II.B. 3** techniques de projection,

### II.B.4. Travaux de réparation des murs en maçonnerie

Les murs en maçonnerie sont souvent sujets à des fissures dues aux efforts tranchants excessifs et aux forces de tension qui résident au niveau de leurs intersections.

Dépendant de l'épaisseur des ouvertures de fissures, différentes méthodes de réparation peut être utilisées. Ces méthodes peuvent aller de la simple injection au remplacement de tout le mur en passant par celle qui consiste à remplacer les briques ou les moellons le long de la fissure.



**Figure II.B. 4** Réparation d'un mur en maçonnerie

### II.B.5. Les principales techniques de réparation

Suivant l'importance et les causes des désordres affectant une construction en béton armé, la réparation repose, en général, sur la mise en œuvre d'une combinaison de plusieurs techniques et matériaux (**Tableau 1**)

On peut citer quelques techniques un suivantes :

- Les traitements des fissures : calfeutrement et injection des fissures ;
- La protection du béton et des armatures ;
- La régénération des matériaux ;
- L'ajout de forces (ou de déformations) ;
- L'ajout de matière. (**T.S. TANKEU NDANGA, 2011**)

Dans ce chapitre, on va détailler sur les traitements des fissures.

**Tableau 1** Principes et méthodes de réparation applicables aux matériaux de réparation

Principe	Exemples de méthodes basées sur les principes	
<b>Principes et méthodes relatifs aux défauts dans le béton</b>		
<b>3. Restauration du béton</b>	3.1. Application manuelle de mortier 3.2. Nouveau béton ou mortier coffré 3.3. Pulvérisation de béton ou mortier	
	3.4. Remplacement d'éléments	
<b>4. Renforcement structural</b>	4.1. Ajout ou remplacement de barres de renforcement incorporées ou externes 4.2. Ajout d'armature ancrée dans des trous pré-creusés ou sciés 4.3. Collage d'une plaque de renforcement	
	4.4. Ajout de mortier ou de béton	
	4.5. Injection dans les fissures, les vides ou les interstices 4.6. Colmatage des fissures, des vides ou des interstices 4.7. Précontrainte (précontrainte par post-tension)	
	<b>5. Augmentation de la résistance physique</b>	5.1. Revêtement 5.2. Imprégnation
		5.3. Ajout de mortier ou de béton
		<b>Principes et méthodes relatifs à la corrosion de l'armature</b>
	<b>7. Préservation ou restauration de la passivité</b>	7.1. Augmentation de la couche avec du mortier ou du béton supplémentaire 7.2. Remplacement du béton pollué ou carbonaté
7.3. Ré-alkalinisation électrochimique du béton carbonaté 7.4. Ré-alkalinisation du béton carbonaté par diffusion 7.5. Extraction électrochimique des chlorures		

### **II.B.5.1. Les traitements des fissures**

Les fissures fonctionnelles ne nécessitent aucun traitement dans la mesure où les sollicitations restent dans les limites prise en compte dans les calculs et que le fonctionnement réel des ouvrages est cohérent avec la modélisation initialement retenue. Si tel n'est pas le cas, il faut d'abord consolider ou modifier les éléments concernés de façon à obtenir un fonctionnement correct.

Les fissures accidentelles doivent en général être traitées, surtout si leur ouverture dépasse les limites indiquées précédemment. Les choix du procédé de traitement dépend principalement de l'objectif recherché, éviter la corrosion des armatures, empêcher l'eau de traverser une paroi, corriger un défaut d'aspect extérieur, etc....

Les principales solutions envisageables sont :

#### **A. Injection**

Elle consiste à faire pénétrer dans la fissure un produit qui va créer une continuité mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes. Elle s'applique à des fissures dont l'ouverture est au moins comprise entre 0.1 et 0.2mm.

L'injection par un produit souple permet son adaptation aux mouvements générés par les variations thermiques et hygrothermiques.

L'injection par un produit rigide permet d'assurer la continuité de la matière.

Les travaux d'injection se font en deux étapes :

- ✓ Préparation des fissures.
- ✓ Injection proprement dite.

#### **Préparation des fissures :**

On ignore souvent l'état interne des fissures. Pour cela il est absolument nécessaire de procéder à leur nettoyage, avant toute injection, à l'air comprimé ou à l'eau sous pression. S'il y a des traces de graisses ou d'huile, on peut utiliser des détergents à la condition d'effectuer par la suite une neutralisation.

#### **Choix des produits :**

Les principales caractéristiques qui doivent guider dans le choix du produit le plus approprié au travail seront :

- ✓ Viscosité et injectabilité
- ✓ Durée pratique d'utilisation
- ✓ Vitesse de prise



- ✓ Propriétés mécaniques (résistance, élasticité...)
- ✓ Adhérence
- ✓ Compatibilité ou non avec humidité

## **B. Calfeutrement**

Il a pour objectif de colmater définitivement et en profondeur une fissure au moyen d'un produit souple (mastic ou mortier déposé dans une engravure créée le long de la fissure) afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou d'empêcher la pénétration de matières solides, mais sans bloquer les mouvements de la fissure.

### **II.B.6. Techniques de renforcement**

Les techniques de renforcement ne sont pas spécifiquement parasismiques car elles sont indépendantes des motifs de renforcement. Elles peuvent être classées en plusieurs catégories.

#### **II.B.6.1. Renforcement par addition de nouveaux éléments de construction :**

- ✓ Voiles, palées de stabilité, contreforts extérieurs, chaînages, micro pieux, parois enterrées, etc.
- La liaison entre la partie ajoutée et la structure existante est d'une importance capitale pour l'efficacité de la solution.

#### **II.B.6.2. Amélioration de la résistance de la section transversale des éléments constructifs**

- ✓ Augmentation de section par enrobage.
- ✓ Renforcement de l'armature.

#### **II.B.6.3. Renforcement par confinement :**

- ✓ Chemisage des poteaux.
- ✓ Corsetage des murs, poteaux, cheminées.

#### **II.B.6.4. Traitement de sol visant à :**

- ✓ Augmenter sa capacité portante.
- ✓ Prévenir les tassements importants en cas de séisme.
- ✓ Prévenir des mouvements de terrain : glissements, éboulements, affaissements, coulées lentes, etc.

### **II.B.7. Conclusion :**

Dans cette partie nous avons vu les différentes méthodes de réparation et de renforcement d'un ouvrage en béton armé. Quelle que soit la méthode, le principe est de rendre les sections d'acier et de béton initial ou de combler le manque de section par ajout d'un autre matériau.

Dans tous les cas, le but est de faire en sorte que la structure puisse reprendre à nouveau les charges qui lui sont appliquées voir de pouvoir reprendre un supplément de charge si cela s'avère nécessaire pour que l'ouvrage réponde aux attentes et à l'évolution des besoins des utilisateurs ou des propriétaires.

## **PARTIE II : CAS D'ETUDE**

### **Chapitre III**

#### **Expertise du centre intensif des langues à l'université de Biskra**

## Chapitre III

### Expertise du centre intensif des langues à l'université de Biskra

#### III.1. Introduction

L'objet de ce chapitre est d'appliquer les étapes d'une expertise sur un cas réel. Il s'agit ici du Centre Intensif des langues à l'université de Biskra. On s'intéresse au début à l'évaluation du niveau atteint des pathologies, d'identifier les causes des désordres et de proposer les solutions adéquates de réparation.



**Photo III 1** Le centre intensif des langues à l'université de Biskra

#### III.2. Présentation du projet

- **Nom du projet** : Centre Intensif Des Langues A l'université De Biskra Chetma
- **Maitre de l'ouvrage** : D.L.E.P.B (direction de logement et équipement Biskra)
- **Bureau d'étude** : B.A.H.O.K (Barkat, Ariouat, Hafidi, Ouamane, Khodja)
- **Bureau Responsable du suivi** : B.A.H.O.K (Barkat, Ariouat, Hafidi, Ouamane, Khodja)
- **Control technique** : C.T.C (control technique des constructions Biskra)
- **Le temps d'achèvement** : 18 Mois
- **Entrepreneur** : Kamel Meliouh
- **Dates débuts des travaux** : Mars 2008
- **Dates fin des travaux** : 2011

### III.3. Description de l'ouvrage

- Informations générale sur l'ouvrage :

Largeur	Longueur	Hauteur
50m	50m	9m

- Le bâtiment possédant 4 façades illustrés sur figure III-1 et photos (III-3) (III-4), il se compose d'un rez-de-chaussée et d'un étage. Il offre une série d'espaces pédagogiques dont : 20 Classes de cour, 01 salle équipée d'un laboratoire numérique, 04 autres salles sont en cours d'installation. Une salle d'internet, Deux salles de conférences, l'administration (09 bureaux + la scolarité) et à la fin une cafétéria (voir le plan de R.D.C et du 1<sup>er</sup> étage, Figure III-2).



Photo III 2 Vue satellitaire sur le centre

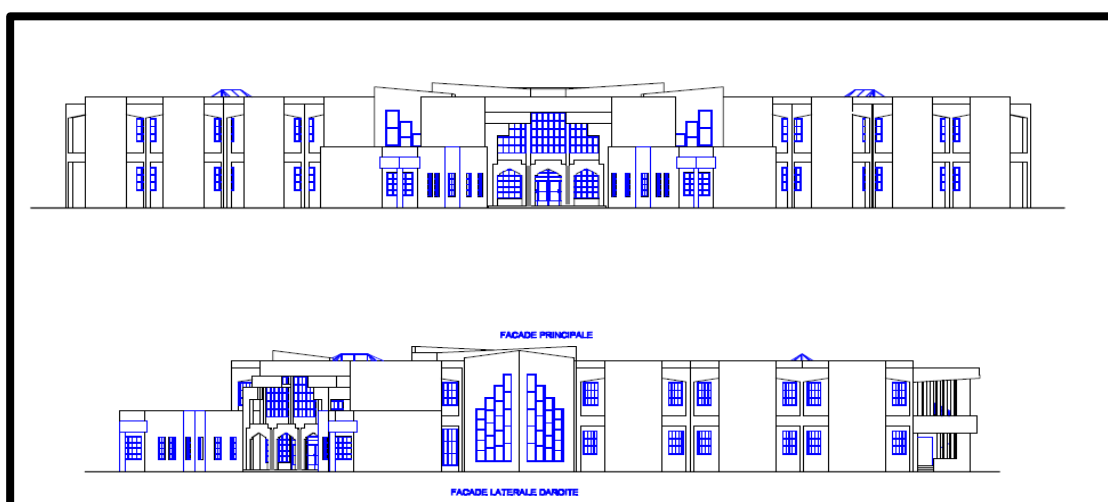


Figure III- 1 Plan des façades du centre sur le plan



Photo III 3 Façade principale



Photo III 4 La façade latérale



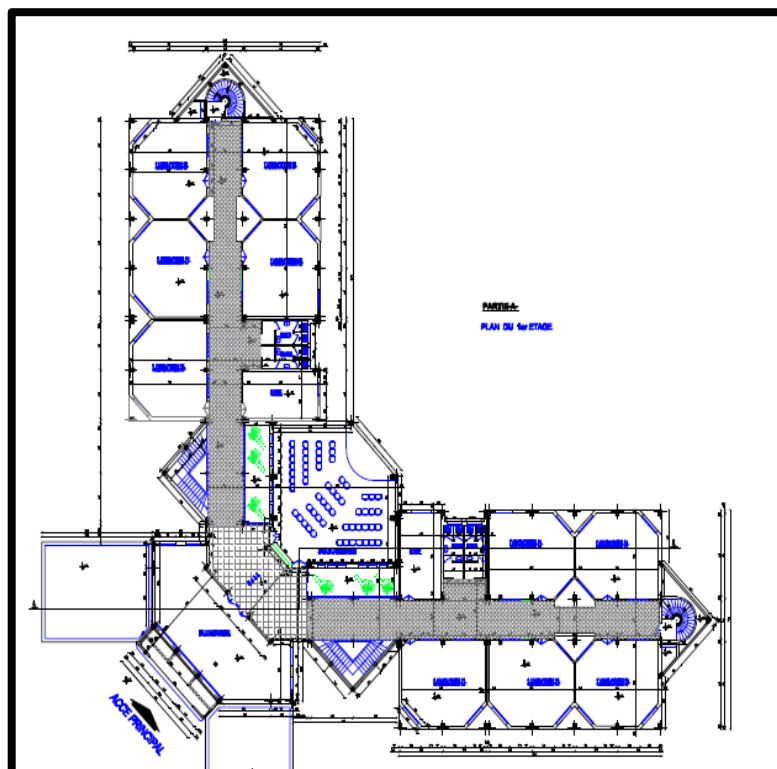
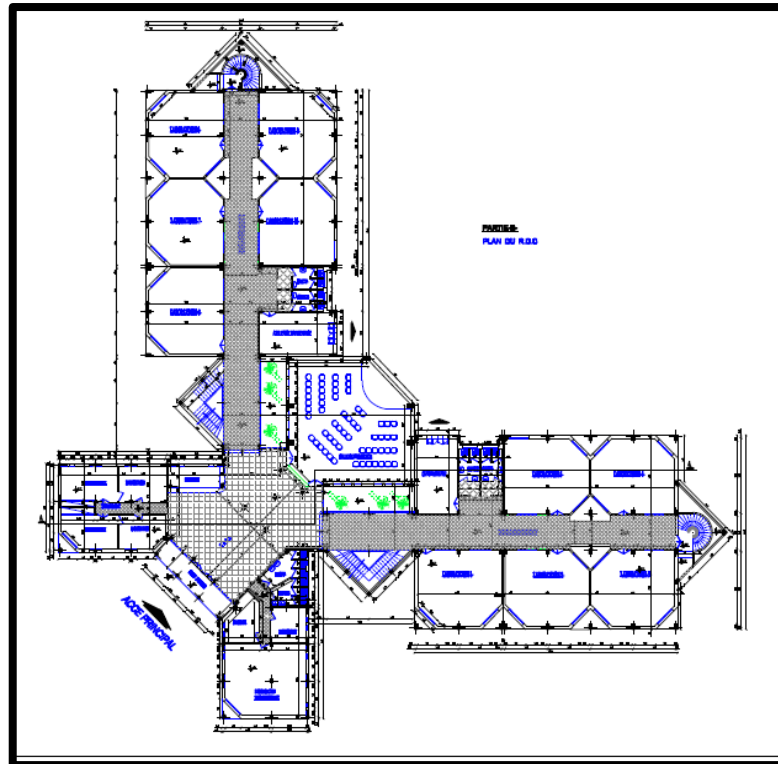


Figure III- 2 Plan de R.D.C et du 1<sup>er</sup> étage





- **Eléments structuraux, second œuvres et matériaux utilisés :**
- ✓ **Système de contreventement de la structure :** Structure en béton armé poteaux poutres (portiques).
  - Dimension des poteaux : P1=30x50cm P2= 30x30cm,
  - Dimension des poutres : P1=30x45cm P2= 30x40cm,
  - Dimension des longrines : L1=30x45cm, L2= 30x30cm et L3=20x30cm,
- ✓ **Plancher en corps creux :** 16cm + 4cm =20cm,
- ✓ **Type de fondation :** fondations superficielles, type : semelles isolées,
- ✓ **Maçonnerie façade double parois :** 10 et 15cm = 20cm,
- ✓ **Epaisseur des cloisons :** 10cm en brique cuite,
- ✓ **Etanchéité multicouche,**
- ✓ **Dosage du ciment :** (pour semelles 370 kg/m<sup>3</sup> en H.T.S (CRS)), (300 kg/m<sup>3</sup> H.T.S (CRS) pour la plate-forme) et (350 kg/m<sup>3</sup> C.P.A pour la superstructure),
- ✓ **Largeur de joint :** 5cm.

### III.4. Inspection de site et l'ouvrage

Lors de notre visite sur site, ainsi que la consultation du dossier technique d'exécution auprès du maître d'ouvrage nous avons constaté ce qui suit :

**III.4.1. En surface :** l'ouvrage est implanté sur un terrain plat (il n'est pas accidenté).

#### III.4.2. Le sol d'assise

D'après le rapport d'étude de sol de l'ouvrage, les couches lithologiques sont :

- **une couche de remblais** (de 0m à 1.5m) ;
- **une couche de sable argileux** (1.5m jusqu'à la fin de sondage 6m)

#### III.4.3. Inspection de l'ouvrage (visite de site)

Suite à l'inspection du centre, **en** 24 février 2020, on a constaté qu'il est le centre est divisé en deux **côtés** : un côté stable sans aucune dégradation constatée et un côté sujet de dégradations importantes (Figure III-4).

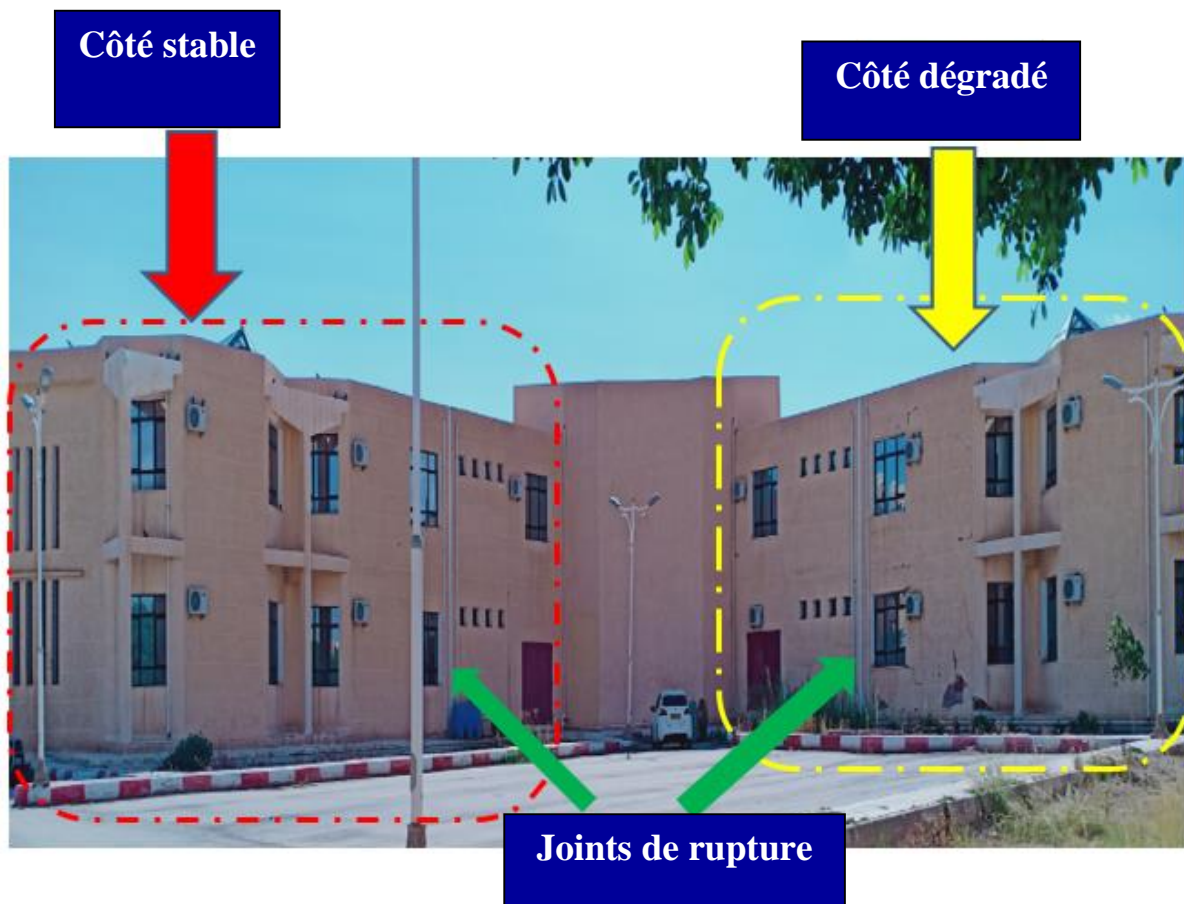


Figure III- 4 Le côté stable et le côté dégradé du centre

### III.5. Désordres constatés

#### III.5.1. Désordres à l'extérieure du centre



Photo III 5 Éclatement de mur en maçonnerie



**Photo III 6** Des fissures inclinées sur les murs



**Photo III 7** L'existence d'une fuite d'eau d'un robinet d'une citerne à côté du mur du centre.





**Photo III 8** L'existence d'une crevasse sous et à côté d'une conduite d'eau pluviale, qui reçoit couramment des fuites d'eau d'une citerne à la terrasse du centre



**Photo III 9** Dégradation d'un regard des eaux usées et même la conduite branchée aux toilettes du centre



**Photo III 10** Apparition de végétations (indice de longue période d'infiltration d'eau)



**Photo III 11** Les racines des arbres et les plantes ont provoqués l'éclatement et gonflement des carrelages de trottoir

### III.5.2. Désordres à l'intérieur du centre

D'une manière générale, les salles sont les plus touchées par la dégradation. Il s'agit de 3 Salles (Salle internet, Salle N°01, Salle N°02) ainsi que le Hall : La figure I-5.

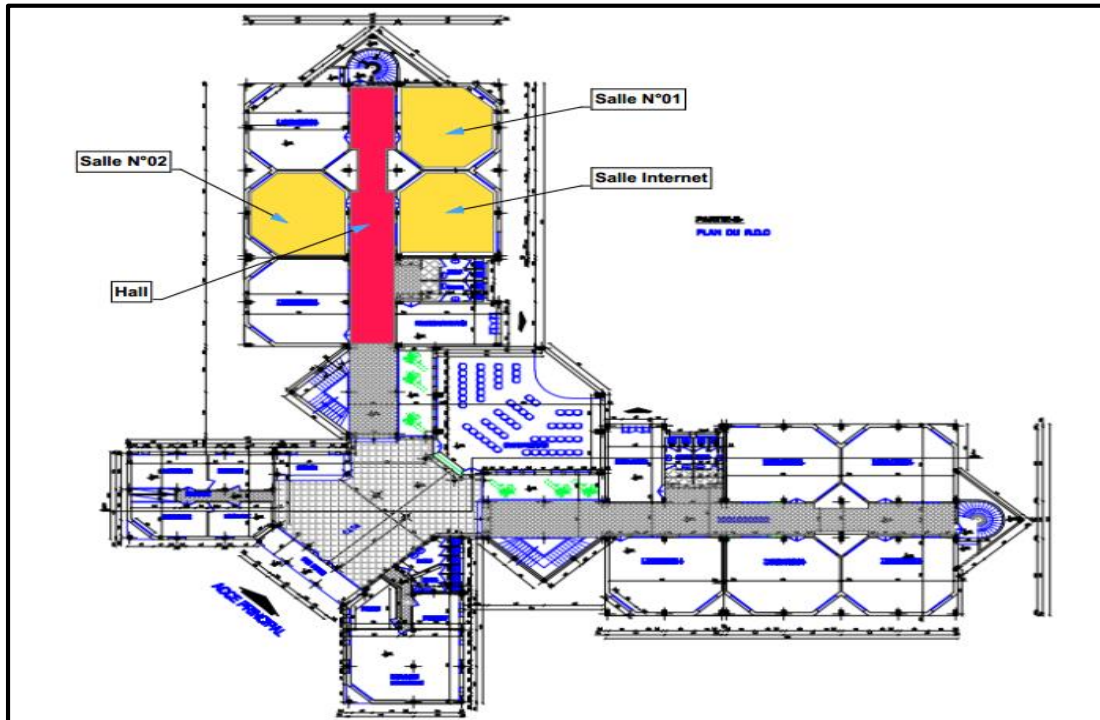


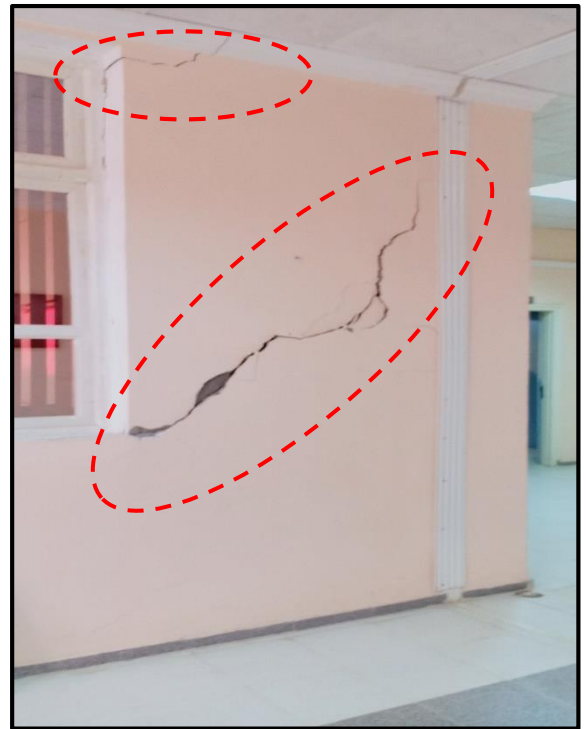
Figure III- 5 Schéma des salles dégradées sur le plan du centre

Il y a de nombreuses zones de fissuration sur les murs de maçonnerie.

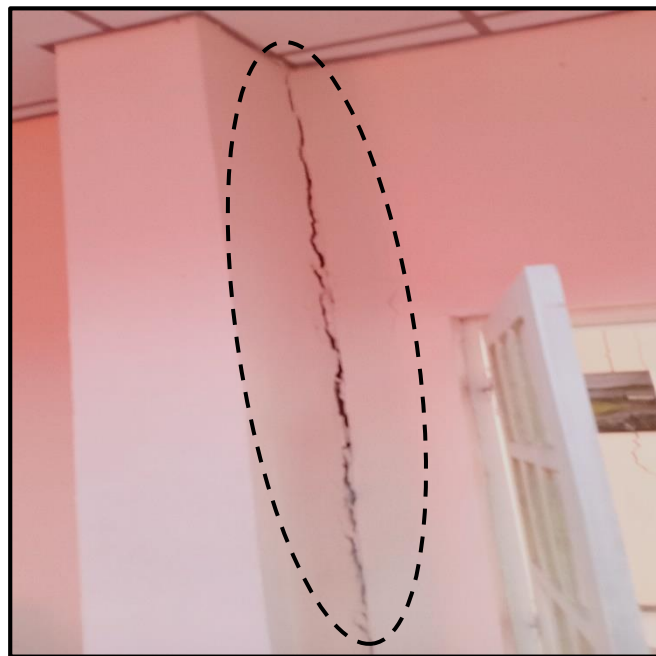


Photo III 12 Décollement de l'enduit et éclatement d'une partie d'un mur dû à un tassement différentiel

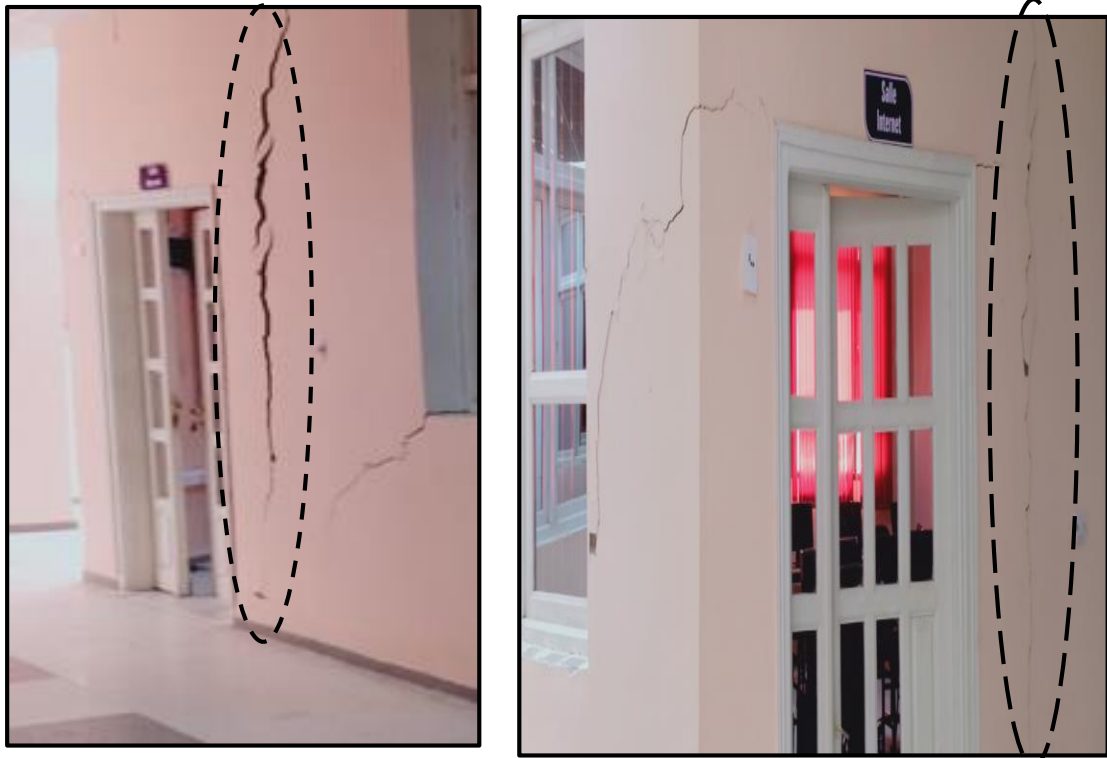




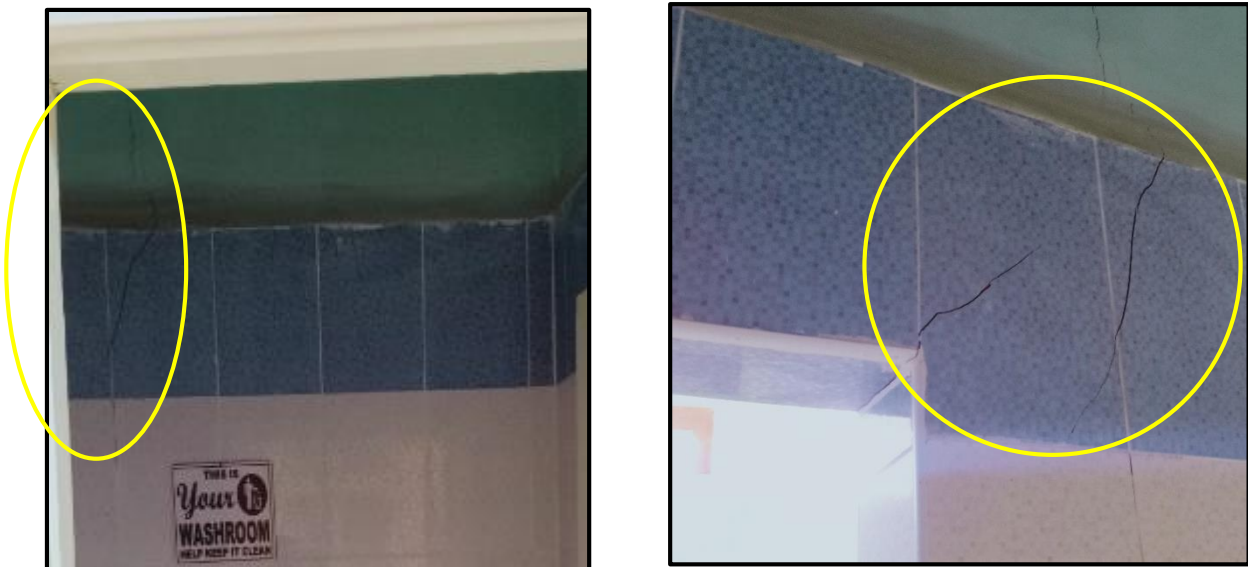
**Photo III 13** Fissure inclinée au niveau d'un mur cloison.



**Photo III 14** Fissuration verticale au niveau des murs cloisons provoquant leur décollement du poteau



**Photo III 15** Fissure verticale au niveau d'un mur en brique (Longues lézardes)



**Photo III 16** La fissuration a pu apparaitre même à travers le revêtement en céramique, ce qui confirme l'impact du tassement différentiel.





**Photo III 17** Détérioration des murs en maçonnerie dans la salle d'internet



**Photo III 18** Détérioration des cloisons du Hall



**Photo III 19** La structure porteuse, jusqu'à maintenant reste non dégradée

### III.6. Etat de lieu

#### III.6.1. Relevé topographique

Après le diagnostic visuel, on a procédé à la réalisation d'un relevé topographique au voisinage de la partie dégradée, pour déterminer avec précision la variation des dénivelées entre les niveaux supposés avoir la même altitude  $Z$ , en se basant sur la méthode du nivellement indirect, et ce pour évaluer l'ampleur du tassement différentiel de la partie dégradée de l'ouvrage.

Dans ce contexte, on a choisi plusieurs points pour prendre des mesures en utilisant une station topographique. Ce relevé nous a permis d'illustrer si il y un problème de tassement de la construction.

L'opération consiste à faire 2 mesures en haut( $Z$ ) et en bas( $Z$ ) et faire la différence ( $\Delta H$ ) en plusieurs point sur l'ouvrage. Le tableau IV.1 résume les résultats du relevé topographique.

Tableau 2 Les résultats de relevé topographique

HAUT	Z2=109,344	Z4=109,254	Z6=109,262	Z8=109,224
BAS	Z1=100,444	Z3=100,414	Z5=100,684	Z7=100,589
$\Delta H(m)$	$\Delta H1=8,90m$	$\Delta H2=8,842m$	$\Delta H3=8,614m$	$\Delta H4=8,635m$

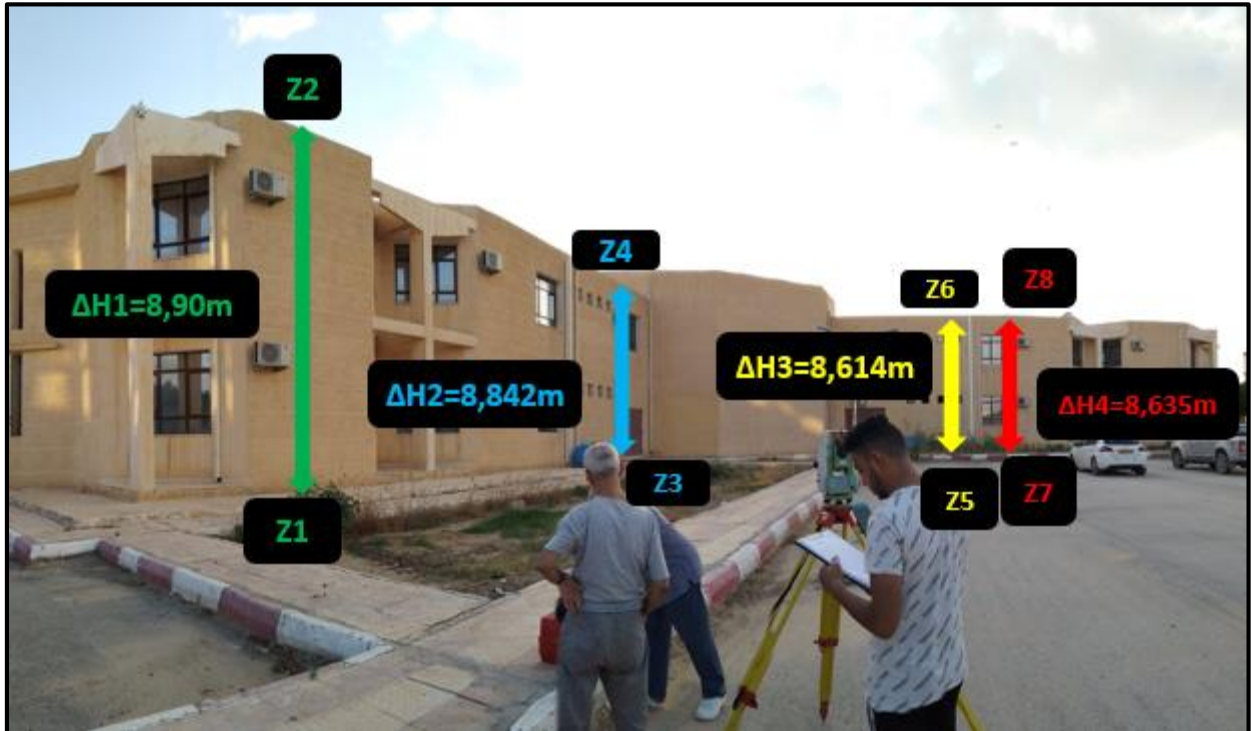


Photo III 20 l'opération de relevé topographique

La différence =  $\Delta H1 - \Delta H3 = 8,90 - 8,614 = 0,29 \text{ m} = 29 \text{ cm}$

D'après ces résultats on remarque la différence entre le côté stable et le côté détérioré est grande, cette différence montre que il y a un tassement de structure de **29 cm**.

### III.6.2. Evaluation des dommages

#### III.6.2.1 Au niveau des éléments porteurs :

- Il n'y a pas de fissures sur les poteaux et les poutres et les planchers (la structure porteuse reste stable) (**photo III-19**).

#### III.6.2.2 Au niveau du mur en maçonnerie :

- Apparaissent de longues lézardes causées par le tassement différentiel (**photo III-14**) (**photo III-15**)
- Décollement des enduits dans quelques cloisons. (**Photo III-12**)
- Des fissures inclinées d'un angle 45° lié à au tassement différentiel (**photo III-13**)
- Eclatement et détérioration des murs en brique (**Photo III-17**) (**Photo III-18**)

#### III.6.2.3 Au niveau de la façade :

- Dégradation d'enduit de la façade et éclatement de celui des murs extérieurs (**photo III-5**)
- Fissuration inclinée sur les parois extérieures des classes au RDC et au premier niveau. (**photo III-6**) (**photo I-8**)
- Apparition des végétations (**photo III-10**) (**photo III-11**)

#### III.6.2.4 Infiltration d'eau dans le sol de fondation :

Il s'agit ici de 4 sources d'infiltration d'eau :

1. Eau d'arrosage de l'espace vert ;
2. Eau usée venant du regard et des canalisations enterrée liées aux toilettes près des salles d'internet (**photo III-8**). Cette eau semble qu'elle a le plus grand impact sur le tassement constaté.
3. Eau issue des fuites des citernes : celle qui se trouve à la terrasse et l'autre qui se trouve en bas du mur ;
4. Eau pluviale sans système d'évacuation (**photo III-9**).

### III.7. Interprétations du phénomène lié à la fissuration

#### III.7.1 Nature des couches le terrain de fondation :

Le sol composé d'une épaisseur de 1.5 m de la couche de remblais et une couche de sable argileux de plus de 4m, si elles sont le sujet d'infiltration d'eau, il y a des risques de risques de tassement différentiel des fondations, surtout avec le type de semelles isolées. Comme il faut signaler qu'il y a une possibilité que les particules fines de sable soient transportées par l'eau, influant négativement sur la porosité, Ce qui favorise le tassement différentiel des fondations.

#### III.7.2 Effet d'infiltration d'eau

Il est connu par les géotechniciens, que la variation de l'état hydrique dans le sol durant une longue période peut engendrer plusieurs effets sur le comportement du sol, affectant finalement les fondations. Dans notre cas d'étude, les fissures apparues sur les murs, elles sont probablement issues d'un tassement différentiel des terrains sous-jacents. Donc les fondations seront la cause directe des fissures dans le mur, ces fissures peuvent nuire à la stabilité de l'ouvrage. La fissuration affecte d'avantage l'aspect esthétique que l'intégrité structurale de l'ouvrage. Il est donc important, lors de la conception et de la construction des ouvrages, de prendre les précautions nécessaires pour limiter la fissuration à un niveau acceptable.

Le tassement différentiel des fondations qui a provoqué la fissuration des murs en maçonnerie, a été confirmée par les résultats du relevé topographique, où on a constaté un affaissement du point 3 (Z3) d'une profondeur de 29 cm.

#### Cause :

Plusieurs facteurs, ou leur combinaison peuvent être la cause de la fissuration :

- ❖ Un phénomène de retrait-gonflement d'une partie argileuse du sol dû à la sécheresse ;
- ❖ La rupture d'une canalisation enterrée ou la dégradation d'un regard d'eau usée, provoque l'infiltration d'eau dans le sol de fondation pendant une longue durée, ce qui change localement la consistance du sol en pied de mur ;
- ❖ La présence de remblai dans le sol d'assise avec la charge importante de structure ces derniers peuvent être à l'origine d'un affouillement sous les fondations. L'affouillement du sol est l'action de l'eau en mouvement qui creuse des cavités sous les fondations ;
- ❖ Manque d'avalaires dans cette zone, qui permettent l'évacuation des eaux pluviales et les eaux excédentaires des citernes de terrasse..
- ❖ A la négligence et au manque d'entretien.

### III.8. Solutions et mesures préventives

Après les constatations et l'étude des causes probables des dégradations du bloc de langue au niveau de l'université, il est nécessaire de prendre une décision définitive pour remédier aux anomalies et préciser l'ensemble des travaux à exécuter et des mesures d'entretien préventives qui seront prévus.

#### III.8.1 Les travaux l'assainissement

On ce qui concerne les travaux à réaliser pour la réhabilitation de ces dernière :

- Eliminer les fuites d'eau dans les canalisations,
- Régler le problème des infiltrations des eaux usées et réparer les regards qui sont dans un état de dégradation très avancé,
- reconstitution de ceux qui présentent des signes de dégradations très avancés.
- Réaliser des avaloires pour évacuer l'eau pluviale et l'eau venant de la terrasse.

#### III.8.2 Les travaux concernant le sous-sol et les fondations

Un renforcement du sol par des injections de coulis de ciment dans le sol. Cette technique consiste à combler par injection sous pression les vides ou fissures du sol afin d'augmenter sa résistance à la compression. Les produits d'injection sont, selon les cas, constitués de coulis de ciment éventuellement additionné de pouzzolanes de cendre volante, de plastifiant et d'accélérateur de coulis d'argiles, de coulis à base de produit chimique liquide ou de résines.

#### III.8.3 Les travaux pour la superstructure et les murs en maçonneries

Les travaux doivent être réalisés après la stabilisation du sol :

- **Remplacement de la partie endommagée** : il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance et la déformabilité seront similaires
- **Reprise des fissures** : Elle consiste à intercaler entre les lèvres de la fissure des éléments plus résistants et plus rigides tels des agrafes métalliques, des morceaux de brique, etc.
- **Injection** : les fissures dont l'épaisseur est comprise entre 0,3 et 3mm peuvent être réparées par injection de mortier de ciment.

### III.9. Conclusion et recommandation

Les investigations réalisées ont permis de déterminer les causes des dégradations et de détérioration de l'ouvrage, le diagnostic est essentielle pour réussir les interventions en termes de qualité et durabilité.

Les résultats font ressortir un certain nombre de points jugés déjà connus, cependant ils méritent essentiellement de recadrer toutes les observations et les diagnostics en retenant leur prédominance :

- ❖ Les différentes pathologies dans le bloc sont d'ordre mécanique,
- ❖ Manque d'entretien (absence de maintenance),
- ❖ Les déformations du sol (le déversement des eaux a provoqué un tassement),
- ❖ Manque d'avaloirs pour évacuer l'eau pluviale et l'eau venant de la citerne de terrasse.

Le processus menant à la source du problème est inclus dans un outil de diagnostic adapté. Cette façon de procéder permet par la suite d'améliorer le choix des méthodes et des produits les plus aptes à combler les défaillances causées par l'endommagement sur l'ouvrage.

## CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Parmi les différents problèmes dont souffre toute la région de Biskra, on note le phénomène de la mauvaise infiltration des réseaux d'assainissement et les fuites d'eaux qui impactent sur le sol d'assise, les résultats de provocation liés à la dégradation rapide des ouvrages notamment l'apparition des fissures dans les murs et son détérioration qui a poussé l'autorité locale de trouver solutions pour y remédier.

Vu que la notion de la structure parfaitement durable est une notion irréalisable, vu le déficit d'entretien et les processus de dégradation des ouvrages accélérés par plusieurs facteurs qu'on ne peut pas maîtriser tous, nos ouvrages sont affectés par des dégradations menaçant leurs sécurités et leurs durées de vie. Et afin d'augmenter ou tout simplement de tenir la durée de vie de l'ouvrage, des interventions dites de réparation ou maintenance sont inévitable à réaliser, mais ces interventions ressortissent autant à l'art qu'à la technique et elles ne sont pas l'objet d'un enseignement spécifique, et l'ingénieur de terrain est souvent livré à lui-même face à un problème urgent.

La démarche proposée dans ce mémoire a comme objectif principal, la compréhension des problèmes et les causes de fissuration et de détérioration d'un bloc dans le centre intensif des langues de l'université de Biskra. Cette étude vise aussi la proposition de solutions pour régler ces problèmes, notamment les techniques de réparation de l'ouvrage en question.

Pour atteindre cet objectif, ce mémoire est scindé en deux parties, la première est dédiée à une synthèse bibliographique, alors que la deuxième est consacrée au cas d'étude.

Dans la partie bibliographie on a pu :

- Identifier les causes de la dégradation et des pathologies des ouvrages ;
- Identifier les moyens qui permettent de diagnostiquer les pathologies ;
- Identifier les solutions de réparation ou de renforcement utilisées.

Dans la deuxième partie réservée à l'évaluation des pathologies du centre intensif des langues de l'université de Biskra, et à travers un diagnostic basée sur le bagage théorique acquis de la revue sur la documentation, on a pu tirer les conclusions suivantes :



- La cause principale des dégradations constatées est la négligence et le manque d'entretien, puisque certaines dégradations pouvaient être évitées ou atténuées par un minimum d'entretien, qui ne demande pas de grands moyens matériels ;
- Manque d'avales dans cette zone n'a pas permis l'évacuation des eaux pluviales et les eaux excédentaires des citernes de terrasse,
- la rupture des canalisations et présence d'infiltrations d'eau au niveau de la partie inférieure dans l'ouvrage ,pendant une longue durée, ce qui change localement la consistance du sol et qui conduit à un tassement de fondation,
- Le sol a subi un phénomène de gonflement suivi du retrait (remblai et sable argileux) due au séchage durant la période estivale, engendrant un tassement différentiel des fondations. Ce dernier est estimé comme étant le responsable de l'apparition d'un nombre important de fissures inquiétantes dans les murs de certains locaux du centre examiné.
- généralement la présence de remblai dans le sol d'assise avec la charge importante de structure ces derniers peuvent être à l'origine d'un affouillement sous les fondations. L'affouillement du sol est l'action de l'eau en mouvement qui creuse des cavités sous les fondations

Bénéficiant d'une compréhension approfondie à travers la synthèse bibliographique et un bon diagnostic des causes de dégradation de l'ouvrage, on peut donner les propositions ci-après, qui peuvent être considérées comme perspectives :

- ✓ Elaboration d'études sur les matériaux et les techniques de réparation du point de vue faisabilité et durabilité.
- ✓ La mise en place d'une procédure de surveillance périodique des ouvrages (visites de surveillance, visites à contrôle renforcé),
- ✓ Le maître d'ouvrage est appelé à prévoir des visites pour d'éventuelles vérifications des conduites des réseaux d'assainissement et d'avales d'eau ainsi que l'étanchéité des toitures,
- ✓ L'organisme de contrôle doit être doté de matériels et d'instruments lui permettant de détecter le nombre et la position des armatures, d'éventuelle corrosion et l'évolution des fissures etc.,
- ✓ Recommandation d'une étude de réhabilitation détaillée et profonde soit faite par des essais destructifs et non destructifs, des analyses des échantillons au laboratoire.

- ✓ L'étude de sol doit être exigée pour tout projet de construction d'une grande importance, elle doit comporter tous les paramètres utiles pour le choix du mode de fondation.
- ✓ Les matériaux utilisés dans la réparation doivent être préparés selon une fiche d'identification déterminant le fournisseur, les caractéristiques du matériau, les conditions et le domaine d'utilisation...

En fin, l'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une profonde connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui exige la même importance que de celle de construire. D'où l'intérêt de donner plus d'importance à cette discipline dans la formation de l'ingénieur, pour que ce dernier puisse connaître et éviter les défauts touchants les structures. **(HOUARA ,2004)**

## Références bibliographiques

1. **A.TAGNIT-HAMOU**, «Cours de microstructure», Université de Sherbrooke. Automne 2019
2. **AMJAD KREIT**, « Prolongation de la durée de vie des ouvrages en béton armé », thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2012
3. **BELL, F. G., ET TYRER, M. J.**, Lime stabilisation and clay mineralogy”. Proc. Conf. Found. And Tunnings-87. Eng. Technics. Press. 2, 1-7. (1987),
4. **BRUNO GODART, LOÏC DIVET**, Réaction sulfatique interne dans les structures en béton - Mécanisme, pathologie et prévention Construction et travaux publics Vieillessement, pathologies et réhabilitation du bâtiment Techniques de l'Ingénieur 10 mai 2009
5. **CALGARO J. A. & LACROIX, .**, «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997
6. **CHABBLRET FERHOUNE.NET BOUABDALLAH.F**, « Pathologies, diagnostic à l'aide de CND et techniques de réparation et protection des ouvrages en béton armé état de l'art. » Faculté des sciences et sciences appliquées, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi. 2018
7. **CHARLOTTE GASSER**, Principales agressions et attaques du béton Armé Nantes Métropole Ex-Dter IdF CEREMA 2014
8. **CHERIF DERARDJA**, mémoire de magister « Types, causes et remedes des degradations des constructions existantes » université de Biskra 2004
9. **CHRISTOPHE CARDE**, directeur technique du LERM [www.betons-lemagazine.fr](http://www.betons-lemagazine.fr)°6 Septembre /Octobre 2006 Pathologie Le retrait des bétons
10. **CLEMENT**, « Construire des Ouvrages d'Art en Béton - les contrôles à postériori », COTITA, 2011.
11. **DERRICHE Z. ET IGUECHTAL L**, “Comportement de quelques ouvrages dans les argiles expansives d'In-Amenas”, journées d'étude, Université de Ouargla les 29 et 30/10/2002.
12. **DR. IR. P. BOERAEVE**, Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton page 7 année 2009]
13. **EMMONS, P.H ET AL** « A Rational Approach to Durable Concrete Repairs Concrete International », September 1993,
14. **EYROLLES, 1976** : [Eyrolles, La corrosion des métaux dans la construction», Collège international des sciences de la Construction, 1976]

15. **FERHATI TAIEB** mémoire master, Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S ; Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; 2015 2016].
16. **FREEAH F** “Prise en compte du gonflement pour le dimensionnement des fondations superficielles”, Thèse présentée pour obtenir le diplôme de magister en Génie Civil, Université de Batna., (2006).
17. **GRANDUBE** Grandeurs associées à la Durabilité des Bétons. AFGC. 2007
18. **GUELMINE LAYACHI**, « Pathologies des Constructions » Université Mohamed El Bachir El Ibrahim - Bordj Bou Arreridj, **2019]**
19. **GUIDE DE PATHOLOGIE EN BATIMENT PARTIE 1 : GROS ŒUVRE CPS**edit ROYAUME DU MAROC
20. **JEAN DELEFOSSE**, article Pathologies du béton armé - Actions physicochimiques, cas particuliers et ouvrages spécifiques Techniques de l'Ingénieur 10 novembre 2013]
21. **JONATHAN MAI-NHU**, articulé Corrosion des armatures : intérêt des inhibiteurs de corrosion et méthodologies pour le suivi durant la vie de l'ouvrage Décembre 2015
22. **JOSEPH ABOU ZEID**, « Méthodes de réparation et de protection des ouvrages en béton armé », Institut des Sciences Appliquées et Economiques- Université libanaise, ISAE – Cnam Liban, Centre du Liban associé au conservatoire national des arts et métiers- Paris, Information et communication pour l'ingénieur Génie Civil – ENG222, 2016,
23. **KAREN SCRIVENER**, cour Laboratoire de Matériaux de Construction Lafarge, Lab. Centrale de Recherche Mars 2001 EPFL
24. **LATASTE J.F.** « Contrôle Non Destructif des ouvrages d'arts »Université Bordeaux1,
25. **LOUIS LOGAIS**, «La pathologie des fondations», Editions du Moniteur, 1985
26. **Malhotra, V. M. and Carino, N. J.** Handbook on Nondestructive testing of concrete, CRC Press, Boca Raton, USA, 343 p. 1991
27. **MARC.D**, Société Geo-Topics« Diagnose des bétons », Fiche Produit.
28. **MATE et METL, PPR.**, Risques de mouvements de terrain– Guide méthodologique, 1999, 71p
29. **MEDAD**, Le retrait gonflement des argiles : comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel, 2008
30. **METL-MEDDE/DGPR** Prévention des risques naturels Les mouvements de terrain Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie août 2012
31. **Michel HAVARD** «Pathologie des fondations et fiches de pathologie», SOCOTEC, 1999.
32. **MOALIC L.A.** « Réhabilitation d'ouvrages en béton a. du diagnostic au confortement », Mémoire Ingéniorat INSA de Strasbourg .2011

- 33. MOUROUX P., MARGRON P. ET PINT J.C.**, “La construction économique sur sols gonflants”, Manuels et méthodes n°14. B.R.G.M., Orléans 1988
- 34. NASSIMA KHAL** thèse de doctorat, Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016
- 35. NEVILLE A.**; Consideration of durability of concrete structures: past, present and future. Materials and structures, 34:114-118 .2001
- 36. Norme NF EN 12504-2** « Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs -Détermination de l'indice de rebondissement », 2003
- 37. Note Technique – Auscultation Techniques Topo Société de Géomètres Experts TT PARIS France. 2020**
- 38. NOWAMOOZ, H.**, RETRAIT/GONFLEMENT DES SOLS ARGILEUX COMPACTES ET NATURELS, Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure de Géologie Laboratoire Environnement, Géo-mécanique & Ouvrages École Doctorale RP2E, France, (2007)
- 39. OUZAA KHEIRA**, «réhabilitation des structures », Université MOHAMED BOUDIAF Oran, Année 2014/2015.
- 40. PETER H. EMMONS.**, Concrete Repairer and maintenance illustrated, R.S. MEANS COMPANY, ING.,Construction Published & Consultations, Copyright 1994, 100 Construction Plaza, P.B. Box 800,Kingston, MA 02364-0800.]
- 41. PLOYAERT, C** « La Corrosion des armatures des bétons armés et précontraints » Fédération de l'Industrie Cimentière Belge 2009
- 42. SALHI IMED**, « DIAGNOSTIC DE LA DEGRADATION DE LA GALERIE D'EVACUATION DE TOUGGOURT » thèse de magistère Université KASDI Merbah de Ouargla 2014
- 43. SELMA HAOUARA**, Mémoire De Magister Les Facteurs D'influence Sur La Dégradation Des Ouvrages En Béton Arme Dans La Région De Biskra Université De Biskra 01/03/2004
- 44. T.S. TANKEU NDANGA**, Pathologie évaluation et réparation de ponts en béton armé, Institut international d'ingénierie et de l'environnement, Mémoire de master, 2011,
- 45. Université de Sherbrooke, GCI 714 – «Durabilité et réparation du béton»**,
- 46. VINCENT M., HEDOU F., CHIROUZE M., PLAT E., LE ROY S.**– Cartographie à l'échelle départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux à des fins préventives, Symposium international Sécheresse et Construction, Marne-la-Vallée, 1- 3 sept.2008, éd. Du LCPC, Paris, pp. 55-62. 2008

**47. ZENKHRI A.**, “Solutions de construction sur sol potentiellement gonflant application à la région d’In-Aménas”, Thèse présentée pour obtenir le diplôme de magister en Génie Civil spécialité géotechnique, Université Houari Boumediene.2010]

**Site web :**

(<http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

(<https://fr.scribd.com/document/333199530/PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations> saida 2016)

( [https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement\\_et\\_effondrement\\_miniers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaissement_et_effondrement_miniers))

(<https://www.docsity.com/fr>).

(<https://www.infociments.fr/betons/notion-de-durabilite-des-betons>)

(<https://www.infociments.fr/genie-civil/les-facteurs-de-degradation-du-beton>)

([https://www.researchgate.net/figure/Tableau-16-Dosage-des-differents-constituants-en-fonction-des-types-de-ciment-et-de\\_tbl2\\_255743909](https://www.researchgate.net/figure/Tableau-16-Dosage-des-differents-constituants-en-fonction-des-types-de-ciment-et-de_tbl2_255743909))

([www.diagnostic-béton.com](http://www.diagnostic-beton.com))