
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et
Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structure

Présenté par :

ZIGHEM NAIMA

**Thème : Pathologie, diagnostic et réparation des
ouvrages d'art**

Sous la direction de:PR : BELACHIA MOULOU

Juillet 2021

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté de réaliser et achever ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement Pr. Belachia Mouloud, mon encadreur, qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer

Tous mes remerciements à ma famille pour leur contribution, leur soutien et leur patience qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire. et également je remercie ma nièce loubna pour son aide.

Merci à tous et à toutes.

Résumé

A partir du dernier siècle et vu la nécessité des constructions des ponts en béton armé qui permettent dans leurs tours de franchir les obstacles naturels ou artificiels et Afin d'augmenter leurs durée de vie , l'importance des études de réhabilitation apparait très clairement après la comparaison des couts des réparations qui restent très favorables et plus économiques par rapport aux constructions de structures nouvelles. Donc une recherche approfondie sur les différentes actions et pathologies agissants sur ces ponts ainsi des diagnostics et des évaluations qui nous conduire à définir les méthodes et les techniques de gestion et réparation.

Aujourd'hui, l'étude sur les actions de réhabilitation des ponts présente l'un des thèmes incontournables dans leur gestion; alimentée par la susceptibilité des ouvrages à se dégrader au cours du temps par des mécanismes d'endommagement très variés, l'importance des études de réhabilitation apparait très clairement après la comparaison des couts des réparations qui restent très favorables et plus économiques par rapport aux constructions de structures nouvelles. Il est donc obligatoire d'avoir une profonde connaissance sur les pathologies, les méthodes de diagnostic et surtout les différentes méthodes et techniques de gestion et réparation.

Le développement du patrimoine des ouvrages, la variété de leur nature, la non-prise en charge de la problématique de la durabilité ainsi que l'absence d'une vraie politique de surveillance et d'entretien des ouvrages d'art dans notre pays, nous a incité à proposer ce thème qui a pour objectifs : de comprendre les actions principales dans la réparation, de la pathologie jusqu'à la réalisation; Tout cela pour constituer une orientation qui nous aide à préserver nos ouvrages d'art en tenant compte de toutes les éventualités.

Mots clés : Pont, Béton armé, pathologie, surveillance, Maintenance, entretien, Diagnostic, Dégradation, Réparation.

Abstract:

From the last century and given the need for the construction of reinforced concrete bridges that allow their towers to overcome natural or artificial obstacles and In order to increase their lifespan, the importance of rehabilitation studies appears very clearly after the comparison of repair costs which remain very favorable and more economical compared to the construction of new structures. So an in-depth research on the various actions and pathologies acting on these bridges as well as diagnoses and evaluations which lead us to define the methods and the techniques of management and repair.

Today, the study on bridge rehabilitation actions presents one of the essential themes in their management; fueled by the susceptibility of structures to deteriorate over time by very varied damage mechanisms, the importance of rehabilitation studies appears very clearly after comparing the costs of repairs which remain very favorable and more economical compared to constructions new structures. It is therefore mandatory to have a deep knowledge of pathologies, diagnostic methods and above all the various management and repair methods and techniques.

The development of the heritage of structures, the variety of their nature, the failure to address the issue of sustainability as well as the absence of a real policy for the monitoring and maintenance of structures in our country, encouraged us to propose this theme which has the following objectives: to understand the main actions in the repair, from the pathology to the realization; All this to constitute a direction that helps us to preserve our works of art, taking into account all eventualities.

Keywords: Bridge, Reinforced concrete, pathology, surveillance, Maintenance, upkeep, Diagnosis, Degradation, Repair.

نبذة مختصرة

ابتداءً من القرن الماضي ونظراً لضرورة إنشاء جسور الخرسانة المسلحة التي تتيح بدورها عبور العوائق الطبيعية أو الاصطناعية ومن أجل زيادة عمرها ، تظهر أهمية دراسات إعادة التأهيل بوضوح شديد بعد المقارنة بين تكاليف الإصلاحات التي تظل مواتية للغاية وأكثر اقتصاداً مقارنةً بتشييد الهياكل الجديدة. لذلك فإن البحث المتعمق حول الإجراءات والأمراض المختلفة التي تعمل على هذه الجسور بالإضافة إلى التشخيصات والتقييمات التي تقودنا إلى تحديد أساليب وتقنيات الإدارة والإصلاح.

اليوم ، تقدم دراسة إجراءات إعادة تأهيل الجسور أحد الموضوعات الأساسية في إدارتها ؛ تغذيها قابلية الهياكل للتلف بمرور الوقت من خلال آليات الضرر المتنوعة للغاية ، تظهر أهمية دراسات إعادة التأهيل بوضوح شديد بعد مقارنة تكاليف الإصلاحات التي تظل مواتية للغاية وأكثر اقتصاداً مقارنةً بالمنشآت الجديدة. لذلك من الضروري أن يكون لديك معرفة عميقة بالأمراض وطرق التشخيص وقبل كل شيء أساليب وتقنيات الإدارة والإصلاح المختلفة .

ان تطوير تراث الهياكل وتنوع طبيعتها والفسل في معالجة قضية الاستدامة وكذلك عدم وجود سياسة حقيقية لمراقبة وصيانة الهياكل في بلدنا ، شجعنا على اقتراح هذا الموضوع الذي يهدف إلى : فهم الإجراءات الرئيسية في الإصلاح ، من علم الأمراض إلى الإدراك ؛ كل هذا يشكل اتجاهًا يساعدنا في الحفاظ على المنشآت الفنية ، مع مراعاة جميع الاحتمالات.

الكلمات المفتاحية: الجسر ، الخرسانة المسلحة ، علم الأمراض ، المراقبة ، الصيانة ، الصيانة ، التشخيص ، التدهور ، الإصلاح

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Abstract:.....	III
نبذة مختصرة.....	IV
Liste des Tableaux :	X
Liste des Figures :	XI
Liste des Abréviations et Symboles :.....	XIII
Introduction générale	XIV
I. CHAPITRE I : Pathologies des ouvrages d'art -Causes et désordres-.....	1
I.1 Introduction	2
I.2. Généralité sur les ponts :	2
I.2.1. Définition :.....	2
I.2.2 Classification Des Ponts	2
I.2.2.1 Intérêt de la classification	2
I.2.2.2 Classification	2
I.3. Pathologies et actions sollicitant les ponts :	4
I.3.1. Actions naturelle (Crues, vent, température ...).	4
I.3.1.1 Action des crues et phénomène d'affouillement	4
I.3.1.2 Action du vent	6
I.3.1.3. Action de la température.....	6
I.3.2. Actions mécaniques.....	7
I.3.2.1. Action Sismique :	7
I.3.2.2.Le Choc :	9
I.3.2.3. La Fatigue :	10
I.3.3. Actions physiques :.....	10
I.3.3.1. Gel-dégel :	10
I.3.3.2. Retrait :	12
I.3.4. Action chimique :	13
I.3.4.1. L'alcali-Réaction :	13
I.3.4.2 Carbonatation :	15
I.3.4.3. La corrosion :.....	17
I.3.4.4. L'attaque des Sulfatiques :	20
I.3.4.5 Les conséquences des réactions Sulfatiques :.....	21

I.3.4.6. Attaque des Chlorures :	22
I.3.4.7. Action Des Acides :	23
I.4. Symptômes de la dégradation du béton :	24
I.4.1. La Fissuration :	24
I.4.2 Défaut d'exécution :	29
I.4.3. La ségrégation :	29
I.4.4. Eclatement localise :	30
I.4.5. Délamination :	30
I.4.6. L'écaillage :	30
I.4.7. Epaufrure :	31
I.4.8. Faiençage :	31
I.4.9. Lichen :	32
I.4.10. Efflorescence :	32
I.5. Conclusion :	32
II. CHAPITRE II : Methodes De Diagnostic Et Investigation.....	33
II.1 Introduction :	34
II.2 Pourquoi un diagnostic ?	34
II.3. Les données nécessaires pour la surveillance d'un ouvrage :	34
II.3.1. Les données de recensement	34
II.3.2. Les données d'évaluation	35
II.3.3. Les données décrivant le niveau de service rendu	35
II.4. Différents Types De Surveillance	35
II.4.1. Inspection visuelle.....	35
II.4.1.1. Définition	35
II.4.1.2. La Procédure IQOA, 1995	36
II.4.1.3. La Référence ACI, 1993.....	36
II.4.1.4 Outils et équipement pour l'inspection visuelle	37
II.4.1.5 Objectifs de l'inspection visuelle.....	38
II.4.2 Inspection détaillée.....	38
II.4.3 Types d'inspection détaillée :	39
II.4.3 Procédures d'inspection des parties des ponts	40
II.4.4 L'auscultation du pont.....	41
II.4.4.1 Les méthodes d'auscultation du béton	41

II.4.5	Choix des méthodes d'essai	42
II.4.6	L'interprétation.....	43
II.4.7	L'évaluation[PLUMIER 2006]	43
II.5	Conclusion :.....	44
III.	CHAPITRE III : Materiaux Et Methodes De Reparations.....	45
III.1	Introduction.....	46
III.2	Différents Types D'entretien	46
III.3	Choix des méthodes et matériaux de réparations :.....	47
III.3.1	Critères de choix des méthodes de réparation.....	47
III.3.2	Les matériaux de réparation.....	48
III.3.2.1	Bétons Conventionnels[HOUARA 2003].....	48
III.3.2.2	Les latex :.....	48
III.3.2.3	Les Matériaux Composites	49
III.3.3	Les Méthodes de Réparation :.....	50
III.3.3.1	Remplacement Du Béton Altéré :	50
III.3.3.2.	Adjonction d'armatures complémentaires :	50
III.3.3.3	Renforcements et réparation par Matériaux de composite :	51
III.3.3.4	Le Renforcement Au Moyen Des Profiles Métalliques	53
III.3.3.5	Béton Projeté :.....	54
III.3.3.6	La Précontrainte Additionnelle :.....	55
III.4	Les Traitements Des Ouvrages	56
III.4.1.	Ré-alkalinisation Du Béton Carbonate.....	56
III.4.2	Extraction Electrochimique Des Ions Chlores :.....	56
III.4.3	La Protection Cathodique:	57
III.5.	Conclusion :	58
IV.	CHAPITRE IV: Maintenance Et Reparation Des Ouvrages D'art Cas De Skikda.....	59
IV.1	Introduction :	60
IV.2	Ouvrage D'art Sur Rn 44 Au Pk 83+410 - Franchissement Voie Ferrée/RN44	60
IV.2.3	Avis Sur L'état Apparent De L'ouvrage	66
IV.2.5	Programme D'auscultation	67
IV.2.5.1	Essais Sclérometriques:	67
IV.2.5.2	Essais Ultrasoniques :	67

IV.2.5.3 Mesures du front de carbonatation:	68
IV.2.5.5 Resultats des mesures d'enrobage des aciers:	68
IV.2.6 Interpretation & Diagnostic :	69
IV.2.6.1 Interpretation :	69
IV.2.6.2 Diagnostic:.....	69
IV.2.7 Diagnsotic final.....	70
IV.2.8 Projet De Rehabilitation	71
IV.2.8.1 Nature des travaux	71
IV.3 Ouvrage d'art sur RN 44 PK 0+800	73
IV.3.1 Présentation de L'ouvrage:	73
IV.3.2 Description des L Ouvrage :	74
IV.3.3 Relève des dégradations :	77
IV.3.4. Désordres et dommages observés :	77
IV.3.5. Origine probable des dégradations :	77
IV.3.6 Auscultations :	78
IV.3.7. Evaluation de l'état de l'ouvrage :	80
IV.3.8 Cotation ou classification de L'ouvrage :	80
IV.3.9 Solutions de réhabilitation :	80
IV.3.9.1 Principes de la méthodologie adoptée :	80
IV.3.9.2 Elimination des causes de l'apparition des dommages :	81
IV.3.9.3. Choix des techniques de réparation et des matériaux à utiliser :	83
IV.4 Ouvrage d'art sur RN 44 au PK 6+400 pont echangeur	85
IV.4.1. Description sommaire de l'ouvrage :	86
IV.4.2. Relève des dégradations :	89
IV.4.3. Etat de service de l'ouvrage :	89
IV.4.3.1. Calcul :	89
IV.4.3.2. Résultats :	89
IV.4.3.3. Conclusion:	89
IV.4.4. Cotation ou classification de L'ouvrage :	89
IV.4.5. Travaux de réhabilitation :	90
IV.4.5.1 Travaux de préparation :	90
IV.4.5.2 Travaux de réparation :	90
IV.5 Pont Sur oued Righa CW 12 Pk 14+800	90

IV.5.1 Description de l'ouvrage :	91
IV.5.2. Relève des dégradations :	94
IV.5.2. Auscultation :	94
IV.5.2.1. Sclérométrie :	94
IV.5.2.2. Vitesses ultrasoniques :	94
IV.5.3. Etat de service de l'ouvrage :	95
IV.5.3.1. Calcul :	95
IV.5.3.2. Résultats :	95
IV.5.3.3. Surcharges actuels :	96
IV.5.4. Diagnostic :	96
IV.5.5 Cotation ou classification de l'ouvrage :	97
IV.5.6. Projet de réhabilitation et de renforcement :	97
IV.5.6.1. Travaux de Préparation	97
IV.5.6.2. Travaux de Réparation :	97
IV.5.6.3. Travaux de Renforcement :	97
IV.5.7. Conclusion	97
IV.6 Conclusions générales :	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	99

Liste des Tableaux :

Table I-1 : Groupe de pont.....	8
Table I-2 : Causes des différentes sortes de fissurations et les Précautions pour l'éviter.	28
Table I-3 : Les principaux symptômes de la dégradation du béton	29
Table II-1 : Extrait de la classification des défauts des poutres pour les ponts à poutres sous Chaussées en béton armé selon la méthodologie I.Q.O.A.	36
Table II-2 : Inspection visuelle – Classification simplifiée de dommages ACI. [ACI 1993].....	37
Table IV-1 : Description de l'ouvrage Pont Rail RN 44 AU PK 83+410	61
Table IV-2 : Pont Rail RN 44 AU PK 83+410	63
Table IV-3 : Valeurs sclérométriques	67
Table IV-4 : Vitesses ultrasoniques (m/s).....	67
Table IV-5 : Résultats des tests de carbonatation sur carottes	68
Table IV-6 : Résultats des mesures d'enrobage des aciers.....	68
Table IV-7 : Résultats de l'analyse chimique sur béton	69
Table IV-8 : Description de l'ouvrage Pont Rail Rn 44 PK 00+800	74
Table IV-9 : Description de L'ouvrage Pont Mixte PK6 +400	86
Table IV-10 : Classification désordres pont mixte RN 44 PK6 +400	87
Table IV-11 : Sollicitations Max sous combinaison.....	89
Table IV-12 : Poids total autorisé en charge du convoi exceptionnel	89
Table IV-13 : Description de L'ouvrage CW 12 PK 14+800.....	91
Table IV-14 : Classification désordres Pont CW 12 PK 14+800	92
Table IV-15 : Résultat de scléromètre	94
Table IV-16 : Vitesse ultrasoniques.....	94
Table IV-17 : Sollicitations Max sous combinaison.....	95
Table IV-18 : Sollicitations Max sous combinaison.....	96
Table IV-19 : Sollicitations Max sous combinaison.....	96
Table IV-20 : Sollicitations Max sous combinaison.....	96

Liste des Figures :

Figure I-1 : Tassement de la pile médiane d'un pont due à l'affouillement local de sa fondation.....	5
Figure I-2 : Affouillement général et affouillement local durant une crue.....	5
Figure I-3 : Sollicitations sismiques agissant sur un pont.....	7
Figure I-4 : Carte de zonage sismique de l'Algérie	8
Figure I-5 : Exemples des dommages induits par le séisme	9
Figure I-6 : Les différentes dégradations causées par le choc	10
Figure I-7 : Dégradations dues aux sels de déverglaçage	12
Figure I-8 : Exemples des dommages occasionnés par RAG	15
Figure I-9 : Mécanisme de carbonations de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	16
Figure I-10 : Effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO_2 pour différents rapports ...	16
Figure I-11 : Le Mécanisme de la Corrosion	18
Figure I-12 : Les phases de la corrosion	18
Figure I-13 : Types de fissures développées lors de la corrosion des aciers d'armature.....	20
Figure I-14 : Exemples des structures attaquées par les sulfates	21
Figure I-15 : Mécanisme de la corrosion électrochimique en présence des chlorures	23
Figure I-16 : Piqure profonde causée par une attaque de chlorure	23
Figure I-17 : Mécanisme des attaques par les acides	24
Figure I-18 : Age d'apparition de fissures à partir mise en place du béton.....	25
Figure I-19 : Classification des fissures selon leur morphologie.....	26
Figure I-20 : Les différentes causes de fissuration	27
Figure I-21 : Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage	27
Figure I-22 : Défaut de mal exécution des travaux.....	29
Figure I-23 : Ségrégations.....	29
Figure I-24 : Eclatement localisé	30
Figure I-25 : Délamination.....	30
Figure I-26 : Epaufrure	31
Figure I-27 : Phénomène de faïençage.....	31
Figure I-28 : Lichen sur la structure	32
Figure I-29 : Efflorescence	32
Figure II-1 : Synoptique présentant la méthode générale à suivre à l'issue d'inspection détaillée	38
Figure II-2 : Le galvapulse de la société germann-instrument[ALEXANDER 2009]	41
Figure II-3 : Principe de Radiographiques.....	42
Figure III-1 : Courbes de dégradation d'une structure.....	46
Figure III-2 : Armatures supplémentaires en engravure	50
Figure III-3 : Armatures supplémentaires en surépaisseur de poutre	51
Figure III-4 : Les principes de l'enroulement [ROCHDI 2004]	51
Figure III-5 : Mise En Œuvre Par Stratification Directe.....	52
Figure III-7 : Procède Par Collage De Plaques (SIKA, 1996).....	53
Figure III-7 : Renforcement De Poteaux Au Moyen De Profiles Métallique.....	53
Figure III-8 : Projection Par Voie Humide	54
Figure III-9 : Projection Par Voie sèche	55

Figure III-10 : Tracés rectiligne	55
Figure III-11 : Traces polygonal	56
Figure III-12 : Illustration du processus electrochimique de relatinisation	56
Figure III-13 : Schéma d'application d'un traitement d'EC	57
Figure IV-1 : Vue en élévation de l'ouvrage, Côté « Annaba »	60
Figure IV-2 : Vue au-dessus de l'ouvrage	61
Figure IV-3 : Mesure du front de carbonatation	68
Figure IV-4 : Vue d'ensemble pont RN 44 PK 0+800	73
Figure IV-5 : Vue en route.....	73
Figure IV-6 : Situation géographique	74
Figure IV-9 : Ferrosan Ps 200.....	78
Figure IV-10 : Auscultation dynamique AU 2000	79
Figure IV-11 : Mesure topo métriques.....	80
Figure IV-12 : Vue générale pont échangeur RN 44 PK 6+400.....	85
Figure IV-13 : Vue générale pont Sur Oued Righa Cw 12 Pk 14+800	90
Figure IV-14 : Poutre centrale Côté amont.....	94
Figure IV-15 : Poutre centrale côté aval	95

Liste des Abréviations et Symboles :

ACR : Réaction Alkali-Carbone.

ASR : Réaction Alkali-Silice.

BHP : Béton à Haute Performance.

BTHP : Béton à Très Haute Performance.

CW : Chemin de Wilaya.

E/C : Eau / Ciment.

ELS : Etat Limite des Service.

ELU : Etat Limite Ultime.

Mpa : Méga Pascal.

OA : Ouvrage d'Art.

PI-CF : Passage Inférieur à Cadre Fermé (portée ≤ 10 m).

PI-PO : Passage Inférieur à Portique Ouvert (portée ≤ 20 m).

PK : Point Kilométrique.

POD : Passage à Portique Double (portée de la travée ≤ 20 m).

PS-BA : Passage Supérieur à poutres continues en Béton Armé.

PSI-DA : Passage Supérieur Inférieur à Dalle en Béton Armé.

RN : Route Nationale.

TD : Thermodurcissable.

TI-BA: Passage Supérieur à Travées Indépendantes en poutres (portée comprise entre 16 et 26 m) en Béton Armé.

TP : Thermoplastique.

Introduction générale

Vu la superficie immense de notre pays et la nécessité de transport, l'Algérie dispose d'un réseau routier estimé à 108302 km qui reste encore insuffisant par rapport aux besoins demandés, ce dernier contient environ 5000 ouvrages d'art dont la plus part sont réalisés en béton armé.

A chaque début y a une fin, cette théorie s'applique aussi sur les ouvrages d'art tel que les ponts, avant la ruine les ponts perdent avec le temps la qualité originale de leurs matériaux qui influent sur sa résistance et cette perte et du a l'exposition continue au intempéries et au charge dynamique due au trafic des véhicules lourds (pour les ponts routiers) et des terrains (Pour les ponts ferroviaires) et se distingue se forme (fissuration, corrosion,...) due à des actions accidentelles tel que le séisme et choc des véhicules dues aux défauts dans le calcul ou dans l'exécution de l'ouvrage.

Afin d'augmenter la durée de vie d'un ouvrage d'art, il y a lieu de prévoir une consolidation ou réparation adéquate. Mais il est important, pour que la réparation soit de qualité, de savoir toutes les causes et les types de pathologies apparentes ou cachées affectant cet ouvrage. Pour connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, il est très essentiel d'établir le diagnostic nécessaire pour la prise de décision relative aux actions d'entretien, de maintenance ou de réhabilitation de l'ouvrage concerné.

Pour cela le diagnostic préalable de l'ouvrage constitue la base nécessaire pour le choix d'une stratégie de réparation la plus adéquate en fonction du type de dégradation et pour permettre une évaluation plus précise des coûts. Ainsi, il faut prévoir un suivi rigoureux et une maintenance efficace. Cette importante tâche est du ressort du Maître d'Ouvrage qui doit définir une politique d'entretien et de préservation de son patrimoine d'ouvrages d'art.

La gestion des ouvrages d'art doit satisfaire à des exigences fondamentales :

- obtenir une image fiable de l'état du patrimoine ;
- identifier les risques éventuels encourus par les usagers ;
- faciliter la mise en œuvre d'une politique d'entretien et de préservation du patrimoine ;
- optimiser les actions de gestion, pour parvenir à l'adéquation des moyens et des résultats.

Elle a pour obligation principale de maintenir chaque ouvrage d'art à un état de service normal, du point de vue :

- sécurité des usagers et des exploitants,
- structurel.

Ce travail que nous présentons consiste à exposer et relater les différentes phases de réparation et maintenance d'un ouvrage ; et présenté comme suit :

Une première partie : partie théorique

Composée de trois chapitres :

➤ Dans le premier chapitre : on a essayé de traiter le problème de la compréhension des différents processus des dégradations les plus fréquentes des ouvrages, telles que les chocs ,la corrosion, la carbonatation, les attaques chimiques, ...etc., tout en tenant compte de leurs définitions, leurs entendues, leurs évolutions, les différents facteurs influents ou déclenchant ces pathologies ; et enfin on a essayé de citer quelques dégradations afin de les exposer d'une manière explicite qui nous permet à les identifier en cas ou on les coïncide dans la pratique.

➤ Le deuxième chapitre : est destiné à évaluer un diagnostic, par une meilleure compréhension et une identification des méthodes et types de surveillance, ainsi que les moyens d'essais d'investigation, détections des dégradations et des dysfonctionnements, utilisées pour recueillir et analyser les données afin d'évaluer les états des ouvrages d'art et de leurs composants du point de vue état des matériaux, état structurelle, fonctionnement ; et essentiellement pour évaluer la ou les causes provoquant ces dégradations. Une fois que ces étapes d'évaluation de ces approches présentées sont achevées, le coût de maintenance de l'ouvrage d'art serait déterminé.

➤ Dans ce troisième chapitre, en premier lieu, nous avons commencé par énumérer les motifs engendrant la nécessité d'une intervention de réparation d'un ouvrage d'art ; puis on a essayé de cerner le maximum de types de réparations probables qu'un ouvrage d'art pourrait faire objet durant sa durée de vie; et en conclusion, nous avons essayé de développer une idée sur l'identification et l'utilisation de quelques matériaux de réparation tels que les bétons conventionnels, les bétons de latex et les matériaux composites ...etc., ainsi que les méthodes de réparation les plus utilisées ; et à la fin de ce chapitre on a cité quelques exemples de réparation réalisés à travers le monde.

Une deuxième partie : partie pratique

Qui est basée sur les connaissances des chapitres précédents, et est composée du chapitre IV, qui étudié quatre types de ponts.

✓ Pont: RN 44 au PK 83+410

✓ Pont rail: PONT RN 44 au PK 0+800

✓ Pont mixte: PONT RN 44 PK 6+400

✓ Pont: PONT SUR OUED RIGHA CW 12 PK 14+800

✓ Annexe

Des conclusions générales et perspectives sont exposées sous la forme des points brièvement cités.

Une liste de documents est donnée à la fin de ce mémoire pour permettre d'éclaircir Les références de la recherche bibliographique

I. CHAPITRE I : Pathologies des ouvrages d'art -Causes et désordres-

I.1 Introduction

Le béton armé est un matériau de base des structures largement utilisé depuis plus d'un siècle, aussi bien dans le génie civil que dans le bâtiment. Sa conception de durabilité repose sur plusieurs facteurs tel que la composition des matériaux, les conditions d'exploitation, les dimensions structurelles, la mise en œuvre et le manque d'entretien ainsi de suite.

Cette diversité des facteurs permet la manifestation des pathologies apparentes ou cachées, ces dernières se développent progressivement avec le temps en aggravant la situation plus en plus jusqu'à la ruine totale de l'ouvrage.

Donc la première étape qui nous permette la lutte contre ces pathologie c'est la compréhension approfondie des phénomènes déclencheurs et les désordres résultants ces pathologies, il s'agit de répondre aux questions suivantes :

- Quelle sont les différentes pathologies manifestants dans un ouvrage en béton?
- Quelle sont leurs natures, leurs étendues et leurs potentialités d'évolution?

I.2. Généralité sur les ponts :

I.2.1. Définition :

Un pont est un ouvrage qui permet de franchir ou d'enjamber tout obstacle naturel (oued, ravin) ou voie de circulation (route, autoroute, chemin de fer, canal). Les aqueducs pour le passage de canalisations et les passerelles pour piétons sont considérés aussi comme des ouvrages de franchissement pour l'un ou l'autre de ces obstacles.

Suivant les caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage, on distingue :

La buse : ouvrage de forme cylindrique pour le passage de l'eau.

Le ponceau : ouvrage de petites dimensions (≥ 2 m).

Le viaduc : ouvrage de grande hauteur à travées ou ouvertures successives.

I.2.2 Classification Des Ponts

I.2.2.1 Intérêt de la classification

La classification des ouvrages a pour objectif de faire mieux connaître la nature et le type d'ouvrage composant le parc national et le degré de complexité de leurs structures, de mettre en place une politique de gestion conséquente aux exigences et priorités de maintien en service dans les conditions de sécurité conformes aux usagers, et d'évaluer le coût d'entretien et le budget annuel à allouer à cette opération.

I.2.2.2 Classification

La classification des ouvrages est effectuée sur la base des critères suivants :

A- La nature de la voie portée on distingue le pont-route, pont-rail, aqueduc et pont pour avion.

B-La géométrie : pont droit, pont courbe et pont biais.

C-La nature du matériau utilisé (dans la réalisation des éléments porteurs) : pont en bois, pont en maçonnerie, pont métallique (fonte, fer, acier), pont en béton armé et pont en béton précontraint. On introduit ici la notion de pont « mixte » dont les éléments porteurs sont en acier à lesquels on associe une dalle collaborant en béton armé ou précontraint, participant dans la résistance générale à la flexion du tablier.

D- Leur fonctionnement : il ya trois grandes catégories, à savoir, pont à poutres (éléments porteurs parallèle à l'axe du pont), pont en arc (éléments porteurs en arc, encastrés ou articulés, générant des poussées horizontales aux appuis) et les ponts suspendus (tablier suspendu à deux câbles porteurs principaux ancrés dans des massifs d'ancrage au niveau des culées, passant aux sommets de pylônes et supportant le tablier par l'intermédiaire de suspentes.

Couramment, la classification adoptée se rapporte plus à la structure du tablier qui est la partie plane de l'ouvrage qui permet de porter la voie de communication et de raccorder entre les deux rives de l'obstacle. Dans le cas des portiques et des ponts en voûtes, la structure d'ensemble de l'ouvrage assure cette classification.

On distingue alors :

- Pont voûté (maçonnerie, béton)
- Portique (tablier encastré sur piles).
- Pont à poutres (sous chaussée, latérales)
- Pont en caisson (unicellulaire, bicellulaire)
- Pont dalle (pleine, élégie, nervurée)
- Pont haubané (tablier soutenu par des câbles obliques et rectilignes).
- Pont en arc (à tablier inférieur, supérieur ou intermédiaire).
- Pont suspendu.

Un autre critère de classification lié à la méthode d'exécution donne son nom à certains types de tablier, à savoir :

- Pont en encorbellements successifs : le tablier est constitué d'une succession de voussoirs montés en encorbellement de part et d'autre d'une pile ou à partir de la culée. Les voussoirs sont préfabriqués ou coulés sur place au moyen de coffrage glissant. Cette technique de construction est apparue avec le développement de la précontrainte.
- Pont cantilever : la travée est constituée de consoles qui sont le prolongement des travées adjacentes ou encastrées sur les piles, et d'une travée centrale indépendante et de longueur réduite s'appuyant sur ces consoles.

La standardisation de certains types d'ouvrages sur autoroutes, en vue d'uniformiser l'aspect esthétique et architectural des passages supérieurs et inférieurs, et notamment avec le développement de l'informatique

et du calcul automatique de structures d'ouvrages, a conduit à la constitution de dossiers pilotes pour les ouvrages ou structures de petites portées, comme suit :

- PS-BA : Passage Supérieur à poutres continues en Béton Armé.
- TI-BA: Passage Supérieur à Travées Indépendantes en poutres (portée comprise entre 16 et 26 m) en Béton Armé.
- PI-PO : Passage Inférieur à Portique Ouvert (portée ≤ 20 m).
- PI-CF : Passage Inférieur à Cadre Fermé (portée ≤ 10 m).
- PSI-DA : Passage Supérieur Inférieur à Dalle en Béton Armé.
- POD : Passage à Portique Double (portée de la travée ≤ 20 m).

Remarque :

Chaque type d'ouvrage est constitué de plusieurs éléments variant selon le type, la grandeur et la situation de l'ouvrage, ainsi que chaque élément de structure ou partie d'ouvrage est désigné par un terme propre et bien précis qui permet de le distinguer et même de le situer dans la structure d'un ouvrage donné. L'ensemble de cette terminologie constitue le vocabulaire de la nomenclature des ouvrages d'art. La définition d'un vocabulaire unifié est une étape fondamentale dans la mise en application du programme de surveillance et suivi de nos ouvrages.

I.3. Pathologies et actions sollicitant les ponts :

I.3.1. Actions naturelle (Crues, vent, température ...)

Les actions naturelles telles que, les Crues, le vent et la température, jouent un rôle dans la dégradation des matériaux et de la structure d'un pont.

I.3.1.1 Action des crues et phénomène d'affouillement

I.3.1.1.1 Les crues :

Les crues sont des phénomènes naturels causés par la pluie, la fonte des neiges ou la concomitance des deux. Lors d'épisodes des crues, le débit normal d'un cours d'eau peut être décuplé en quelques heures (crues torrentielles de type «cévenoles») ou en quelques jours (crues de plaine ou fluviales) sur les principaux fleuves.

Ces crues provoquent des phénomènes d'affouillements qui ont pour effet la déstabilisation des fondations et comme conséquences la ruine des ouvrages.

I.3.1.1.2 Affouillement des fondations

Les fondations des ponts situés en sites aquatiques sont vulnérables aux agressions de l'environnement hydraulique. Cette vulnérabilité est fonction de la nature du sol de fondation (ex : sol compressibles, granulaires sans cohésion, ...) et celle de l'obstacle franchit (ex : débit d'écoulement,...). En effet, les fondations d'un ouvrage franchissant un cours d'eau risquent de subir des affouillements provoquant leur ruine si l'ancrage de ces fondations dans le sol est insuffisant et si aucune protection adéquate (ex : rideau de palplanches, nappe d'enrochement naturel ou de gabions) de ces dernières n'est prévue.

D'autre part, l'abrasion des matériaux constituant les fondations suite aux chocs qu'elles subissent lors des fortes crues peut les détruire. Dans les fondations en maçonnerie, l'eau dissout les chaux des mortiers et les pierres calcaires et rend ces fondations sensibles aux abrasions.

A-Affouillement général

L'affouillement général est provoqué par perte des propriétés mécaniques des sols lors des crues. En effet, au-delà d'une vitesse d'écoulement critique, les sédiments fins et meubles se trouvant en surface du lit du cours d'eau perdent leurs propriétés mécaniques et sont transportés vers l'aval par la crue. La profondeur d'affouillement est fonction de la granulométrie des sédiments, du débit et de la hauteur d'eau et peut varier entre quelques dizaines de centimètres et plusieurs mètres. L'affouillement général peut provoquer la ruine de toute fondation non protégée ou dont l'encastrement dans le sol est insuffisant.

B-Affouillement local

L'affouillement local se développe le long de la génératrice amont d'un appui non protégé. La profondeur maximale d'affouillement peut atteindre deux fois la largeur de la pile. Les sédiments affouillés se redéposent à l'aval. Figure I-1 montre les conséquences induites par l'affouillement de la fondation d'un pont. Cet affouillement qui a provoqué le tassement de la pile médiane est à l'origine des autres désordres constatés.



Figure I-1 : Tassement de la pile médiane d'un pont due à l'affouillement local de sa fondation

Le concept des deux phénomènes d'affouillement général et local, sont schématisés par la Figure I.2.

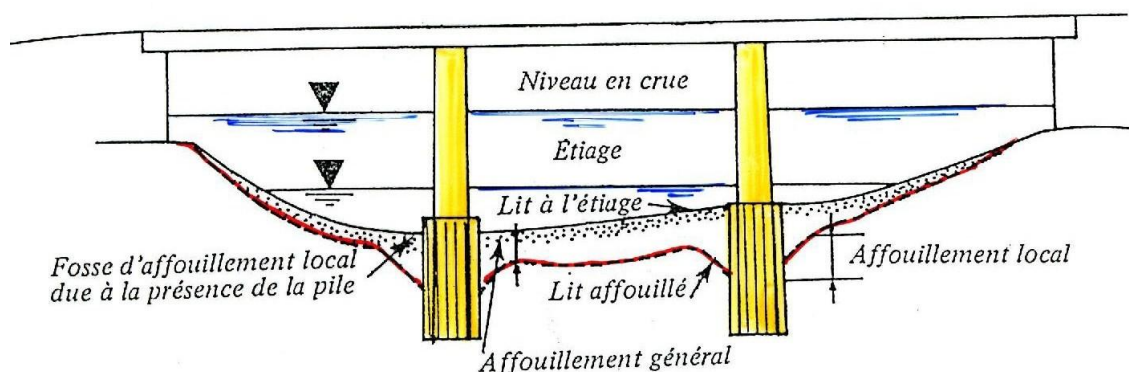


Figure I-2 : Affouillement général et affouillement local durant une crue

I.3.1.1.3 Conséquences de l'affouillement des fondations

Les conséquences de l'affouillement des fondations de ponts sont des fois très lourdes et ont une répercussion immédiate sur la stabilité de l'ouvrage. Les principales conséquences sont les suivantes :

A-Réduction de la force portante des fondations

La diminution de l'encastrement de la fondation, dû à l'abaissement du fond du lit, entraîne une réduction de la force portante de la fondation concernée. Dans le cas des fondations profondes, l'affouillement général ou local des alluvions provoque une réduction de la force portante des pieux par diminution du frottement latéral.

B-Disparition des enrochements

Lors de crue, des fosses sont formées à l'aval des fondations entraînant un raidissement des talus de protection par enrochement et le glissement de ces enrochements.

C-Abrasions et érosions des matériaux

Les sédiments charriés par la crue entrent en frottement et en chocs avec les appuis et fondations de ponts. Ceci entraîne l'abrasion des parties immergées (massif de fondation, protections en enrochements...), particulièrement lorsqu'aucune protection n'est prévues (enrochements, palplanches...).

D-Formations de cavités

Les écoulements d'eau entraînent les particules du sol et du massif de fondation. Ces écoulements se propagent à l'interface entre le sol et le massif de fondation et arrachent des sédiments. Ainsi, des cavités sous les massifs de fondation sont créées. Lorsque les enrochements de protection ont disparu, les affouillements locaux provoquent également des cavités dans les sols au pourtour de l'appui.

Dans les ponts dont les fondations sont en maçonnerie, des cavités se développent dans les zones soumises directement aux actions de l'eau (dans le massif de fondation même). En effet, au contact de ces zones, notamment les moins compacts, l'eau se charge de chaux et dissout le mortier laissant la place aux cavités.

I.3.1.2 Action du vent

Le vent a un effet sur le béton composant le pont et un autre sur sa structure. Cet effet se manifeste par l'action du vent sur le béton frais, connu par le phénomène de dessiccation du béton.

Le second effet du vent sur les ponts est celui agissant sur la structure. Il s'agit de l'effet dynamique du vent sur la structure du pont qui se traduit par sa mise en mouvement et qui peut provoquer un phénomène de flottement ou de galop pour les structures souples tels que les ponts suspendus.

I.3.1.3. Action de la température

Le gradient thermique est un phénomène qui se produit dans les structures exposées à des variations de températures plus ou moins élevée, ce qui engendre la naissance des déformations à l'intérieur de la structure. Dans les structures continues (hyperstatiques) conçues avant les années 75, la différence de température entre les fibres supérieures et inférieures (voire transversalement), dont la prise en compte n'était pas clairement explicitée par les anciens règles de calcul des ponts, engendre des déformations

gênées par l'hyperstaticité de la structure, d'où une redistribution d'efforts donnant lieu à une majoration des sollicitations et de la fissuration.

L'exemple courant de manifeste de ce phénomène est celui des ponts dont l'épaisseur du tablier est importante. La variation de la température entre l'intrados et l'extrados peut par conséquent varier d'un gradient de 20° voir plus. La figure 1.1 schématise l'effet de ce gradient thermique sur la variation du diagramme des moments d'une structure en béton armé, où une augmentation de 7000 KN.m est constatée après redistribution des réactions d'appuis.

L'action de la température sur un élément de la structure d'un pont se traduit par une répartition de la chaleur de façon non uniforme. A titre d'exemple, cette répartition n'est pas la même sur l'intrados et l'extrados du tablier d'un pont en béton à cause de la couleur et de l'épaisseur de son revêtement, de l'ensevelissement auquel l'extrados du tablier est exposé du vent.

Dans le cas d'un pont mixte (béton – acier), cette non uniformité de la répartition de la chaleur est due à la différence entre la conductivité thermique de l'acier et celle du béton.

L'effet de la température est également considérable sur les éléments verticaux lorsqu'ils sont en contact avec des milieux de température différente, telles que les piles submergées ou implantées dans un environnement à alternance de submersion – immersion.

I.3.2. Actions mécaniques

I.3.2.1. Action Sismique :

A-Définition :

Dans les zones sismiques, le séisme induit dans les diverses parties d'un pont des efforts dont l'intensité est d'autant plus élevée que les parties en question sont lourdes et rigides. Les efforts induits dans la structure sont donc essentiellement liés aux forces inertielles horizontales qui résultent de la mise en mouvement des masses (Figure I.3). La raison pour laquelle les structures lourdes sont à déconseiller dans ces zones.

Les piles conçues sous formes de raidisseurs, se comportent comme des voiles, souvent élancés, et connaissent par conséquent les mêmes modes de rupture. Il s'agit soit d'une rupture par flexion, par flexion - effort tranchant ou d'une rupture par cisaillement. La composante du séisme verticale, si elle est importante, peut également causer des dommages importants, tel que le poinçonnement du tablier.

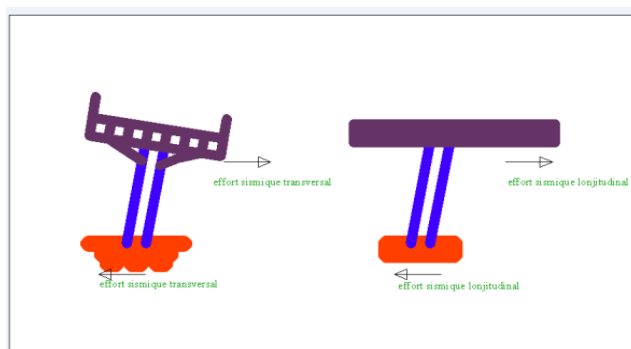


Figure I-3 : Sollicitations sismiques agissant sur un pont

Table I-1 : Groupe de pont

Groupe de pont	Importance
Groupe 1	Pont stratégique
Groupe 2	Pont important
Groupe 3	Pont d'importance moyenne

Groupe 1 : Ponts stratégiques qui doivent rester circulables après le séisme tel qu'acheminement des secours, itinéraires de desserte d'installations stratégiques.

Groupe 2 : Ponts importants qui portent, franchissent ou longent des autoroutes, des voies express et des voies à grande circulation – itinéraires de desserte d'installations de grande importance.

Groupe 3 : Ponts d'importance moyenne non classés en groupe 1 ou 2.

Le territoire national est divisé en 4 zones de sismicité croissante Figure I.4:

Zone I : faible, zone IIa :

Zone I : faible, zone IIa : moyenne, zone IIb : élevée, zone III : très élevée.

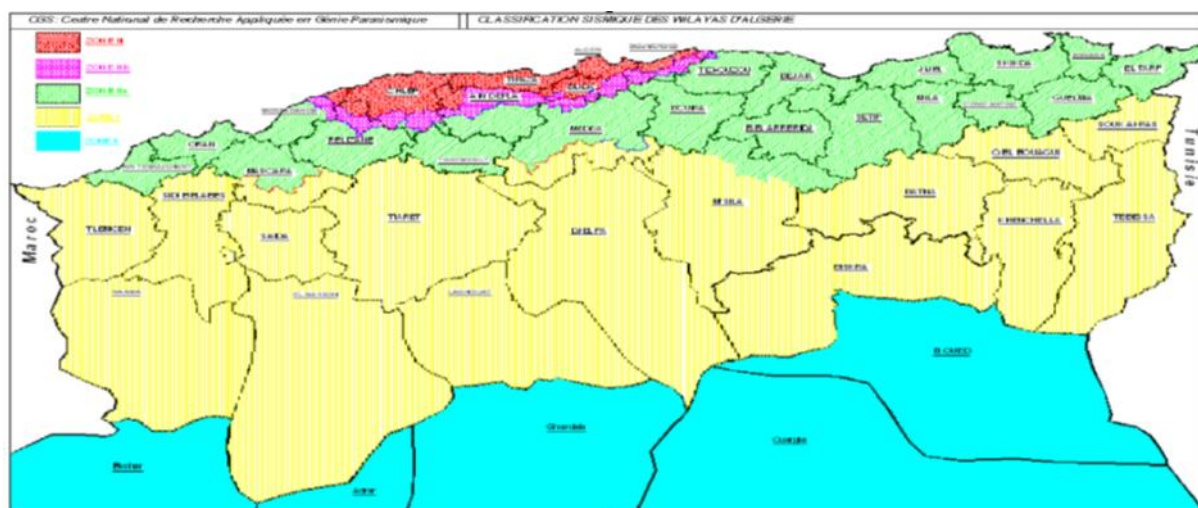


Figure I-4 : Carte de zonage sismique de l'Algérie

B- Les Dommages Induits Par Le Séisme Directement

Ils sont de quatre types Figure I.5:

- Affaissements des chaussées par rapport à l'entrée ou à la sortie du pont (a)
- Ouvertures des joints de chaussées. (b, c)
- Endommagement des bloqueurs de déplacements latéraux (d)
- Déplacements et translations des poutres de tabliers, (e)
- Endommagement des appareils d'appuis (f)

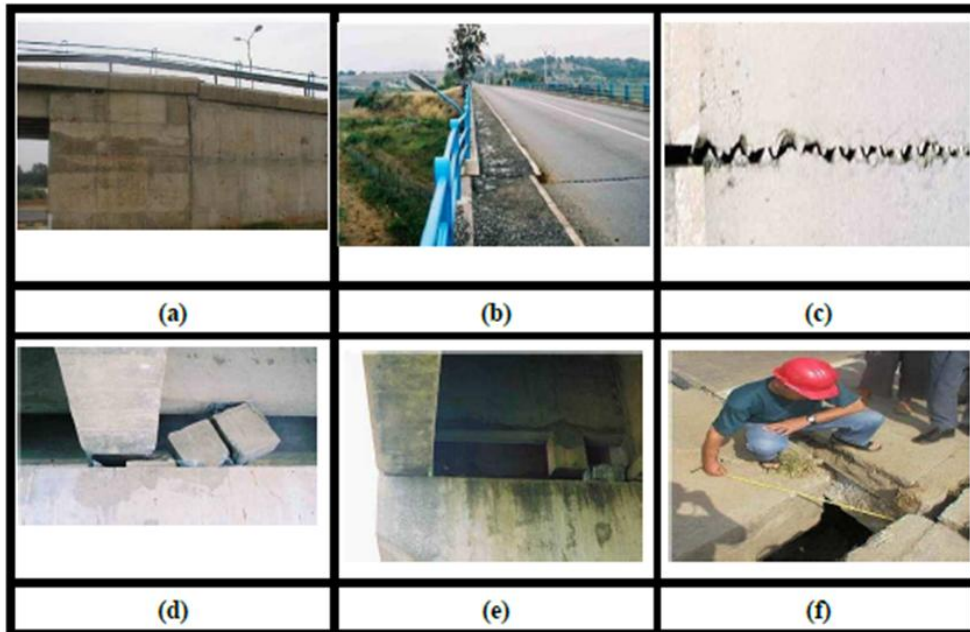


Figure I-5 : Exemples des dommages induits par le séisme

D'après le retour d'expérience des séismes passés, les dégâts les plus fréquents pouvant être subis par un pont durant un événement sismique peuvent être résumés dans ce qui suit :

- échappement des appuis d'où la chute du tablier,
- cisaillement des piles par effort tranchant,
- rupture simultanée de toutes les piles par flexion et cisaillement,
- basculement de la fondation s'une piles (pathologies souvent due à une défaillance dans le sol support : liquéfaction par exemple),
- rupture des piles par flambement des armatures longitudinales, en zone de recouvrement (le recouvrement à proscrire en zones potentielles de rotules plastiques),
- endommagement des zones nodales.

1.3.2.2. Le Choc :

Il s'agit le plus souvent d'une attaque mécanique concrétisée par des chocs, dont les plus fréquents sont ceux des poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts, chocs de bateaux ou d'objets flottant contre les piles en rivière ainsi que les chocs de véhicules contre les barrières de retenue constituent une autre source de chocs non négligeable Figure I.6.

Un dommage dû aux ondes de choc est caractéristique, les éléments du béton sont épaufrés et laissent généralement à nu le cadre d'armatures, les cassures sont fraîches et non altérées, les armatures ne sont pas corrodées, en plus, les épaufrures résultant sont profondes et ils n'ont pas l'aspect d'un écaillage,



Figure I-6 : Les différentes dégradations causées par le choc

1.3.2.3. La Fatigue :

Les trafics routiers et ferroviaires engendrent des variations de contraintes cycliques d'intensité et des fréquences élevées, il est donc logique que les ponts soient potentiellement susceptibles de s'endommager en fatigue. Dans le cas des ponts routiers, ce phénomène n'est tributaire ni des charges apportées par les essieux légers, même s'ils sont nombreux, ni de celles apportées par les essieux très lourds, plutôt rares : les charges déterminantes sont donc les charges intermédiaires. Les tabliers à dalle orthotrope sont particulièrement exposés.

Les endommagements par fatigue se traduit par :

Une dégradation de l'adhérence entre le béton et les armatures entraînant l'apparition d'une fissuration pouvant affecter la durée de vie de l'ouvrage, voire des déformations irréversibles sous l'effet des charges de service.

Le degré d'endommagement dépend de nombreux facteurs comme le nombre et l'intensité des cycles de chargement, la variabilité des charges appliquées et le degré de fissuration entraînant une modification des propriétés du béton. Le phénomène de fatigue concerne principalement les armatures dans les structures en état de précontrainte partielle « involontaire », pour lesquelles il n'a donc pas été pris en considération. Il n'a jamais été observé dans le béton de tabliers non fissurés.

1.3.3. Actions physiques :

1.3.3.1. Gel-dégel :

A- Mécanismes développés par le gel et les sels de déverglaçage :

Les mécanismes de dégradation du béton sont liés à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordres est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations.

Ce phénomène est aggravé, en surface, par l'application des sels de déverglaçage (ou fondants routiers), qui engendrent un accroissement des gradients de concentrations en sels, générant ainsi des pressions osmotiques plus élevées.

Les dégradations occasionnées par le gel peuvent être de deux types :

- Une microfissuration répartie dans la masse du béton (feuilletage parallèle aux parois), provoquée par un mécanisme de gel interne;
- Un délitage de la zone superficielle (dégradation superficielle), appelé écaillage, sous l'effet conjugué des cycles de gel-dégel et des sels de déverglaçage.

Un gradient thermique important au voisinage de la surface, générée par l'application des sels à titre curatif sur un film de glace, amplifie la dégradation de surface.

Ces deux formes de dégradation peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante, elles peuvent affecter la durabilité de la structure et en particulier la pérennité architecturale des ouvrages.

B- Cycles de gel-dégel :

En l'absence de mesures appropriées, le bétonnage en période hivernale peut donner lieu à des dégâts de gel. Dans un béton encore plastique, ce gonflement s'opère librement; une fois durci, le béton ne présentera aucun dégât apparent, mais sera de mauvaise qualité. Dans un béton jeune déjà durci, le gonflement est entravé et des tensions internes apparaissent. Si le matériau n'a pas développé de résistance suffisante, les dégâts se manifesteront par un écaillage de la surface (le plus souvent en plusieurs couches). On considère généralement que le béton est apte à résister à ces tensions internes dès que sa résistance en compression dépasse 5 N/mm². Cette résistance devrait être atteinte si l'on maintient une température ambiante supérieure à 5 °C pendant les 72 premières heures qui suivent la mise en œuvre.

Un béton durci peut, lui aussi, être endommagé par le gel : en se dilatant sous l'action du gel, l'eau présente dans les pores et les fissures crée des tensions susceptibles de provoquer ou d'aggraver des fissures. La sensibilité au gel du béton durci dépend dans une large mesure de sa structure poreuse et des dimensions des fissures.

C- Sels de déverglaçage :

Les sels de déverglaçage employés pour faire fondre la glace induisent une réaction endothermique, c'est à dire. une réaction au cours de laquelle le milieu environnant cède une partie de sa chaleur Figure I.7. En l'occurrence, la chaleur est prélevée dans la couche superficielle du béton qui, en raison de la chute brutale de température, subit un choc thermique et s'expose ainsi à un risque d'écaillage. Le risque de dégradation par le gel est encore accru lorsque des précipitations neigeuses prolongées alternent avec des épandages de sels répétés et que la couche superficielle du béton peut se trouver saturée en eau. La nature des sels de déneigement peut également avoir une incidence sur le processus de dégradation observé.

Par ailleurs, les ions chlore des sels de déverglaçage peuvent engendrer un risque de corrosion pour les armatures.



Figure I-7 : Dégradations dues aux sels de déverglaçage

1.3.3.2. Retrait :

Contraction d'un matériau provoquée par l'élimination de l'eau de gâchage excédentaire (bétons, enduits). Les tensions internes provoquées par les retrait ont pour effet soit de réduire les dimensions extérieures des matériaux, soit de les déformer, soit de provoquer leur rupture.

Quatre types de retrait peuvent être à l'origine de l'apparition de fissures sur la surface des parements tels que :

a- Le retrait de plastiquées : en relation avec des déformations par tassement général du béton frais, déformations qui peuvent être gênées et créer une fissuration de surface au droit d'obstacles tels que des armatures. Ce retrait est limité à la période précédant la prise du béton, lorsque ce dernier reste suffisamment déformable pour subir des tassements.

b- Le retrait de dessiccation : est lié au séchage qui se manifeste avant, pendant et après la prise du béton. Dans des conditions courantes, il est de l'ordre de 1 mm/m. La fissuration qui en résulte est due à la dépression capillaire qui se produit lorsque des ménisques d'eau se forment dans les pores capillaires du béton frais. Ce retrait, qui est donc consécutif à l'évaporation de l'eau, peut se manifester quelques minutes après la mise en œuvre du béton, et se poursuivre quelques semaines après. Il est piloté par la cinétique de dessiccation.

c- Le retrait thermiques : est lié au retour à température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques de déshydratation du ciment. Ce retour à la température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition de phénomènes de fissuration. Ce type de retrait, qui ne concerne que des pièces d'épaisseur supérieure à 60 à 80 cm, se manifeste de quelques dizaines d'heures après la mise en œuvre, jusqu'à quelques semaines, sa durée étant dépendante de la nature des éléments en béton considérés.

d- Le retrait d' auto-dessiccation : est lié à la contraction du béton en cours d'hydratation et protégé de tout échange d'eau avec le milieu environnant. Il provient en fait d'un phénomène d'auto dessiccation de la pâte de ciment consécutif à la contraction. Le Chatelier (le volume des hydrates formés est plus petit que le volume de l'eau et du ciment anhydre initial). Le phénomène conduisant à la contraction est dû à des forces de traction capillaires internes, similaires à celles responsables du retrait plastique. Ce dernier type de retrait concerne plus particulièrement les bétons à hautes performances (BHP) ou à très hautes performances (BTHP). Il devient négligeable pour les bétons ordinaires.

I.3.4. Action chimique :

I.3.4.1. L'alcali-Réaction :

a) Définition :

est une réaction endogène « gènes à l'intérieur » qui affecte le béton dans sa masse contrairement aux autres réactions, l'alcali-réaction peut être considéré comme une réaction solide/liquide entre des formes de silice réactive des granulats et la solution alcaline de la matrice cimentaire distribuée dans la microporosité, pour que la réaction se manifeste, il faut que trois conditions soient simultanément remplies :

- Granulats réactifs ou une source d'alcalins (ciments, additions, granulats, adjuvants).
- Humidité relative supérieure à 80-85%.
- Concentration en alcalins excédant un seuil critique.
- Une forte concentration d'ions hydroxydes (haute pH).

Cette réaction nous résulte un gel expansif qui engendre des contraintes (de 3 à 10Mpa par mesure expérimental, 45 à 140Mpa par calcul théorique de la pression osmotique) .

b) Les différents types de réactions :

En général on distingue trois formes :

▪ Réaction Alcali-silice (ASR) (la plus fréquente)

Il s'agit de réactions entre solution interstitielle alcaline et des formes métastables (forme amorphe ou sous formes modifiées qui ne sont pas chimiquement stables) de silice tels que les verres volcaniques, cristobalite (SiO_2 avec des traces : Fe; Ca; Al; K; Na; Ti; Mn; Mg; P), la tridymite (SiO_2 pouvant contenir des traces : Ti; Al; Fe; Mn; Mg; Ca; Na; K; H_2O) et l'opale ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$).

Le mécanisme de la réaction alcali-silice passe par une dissolution de la silice sous l'action de la solution interstitielle, suivie de la précipitation d'un gel expansif de silico-calco-alcalin.

Les caractéristiques de l'ASR dans les sections de béton infecté sont :

- Des produits blanchâtres et la réaction des jantes autour des particules agrégées.
- Fissures à Travers agrégats, parfois remplis de gel, la matrice des fissures souvent contiguës les fissures globales, et les vides remplis de produits de réaction.
- Une perte d'adhérence peut également se produire entre les granulats et la matrice cimentaire.
- Fissures dans les agrégats qui montrent une évidence de l'ASR sont souvent microfissures naissantes ou préexistantes qui sont des plans de faiblesse dans lequel une solution interstitielle alcaline pénètre et réagit.

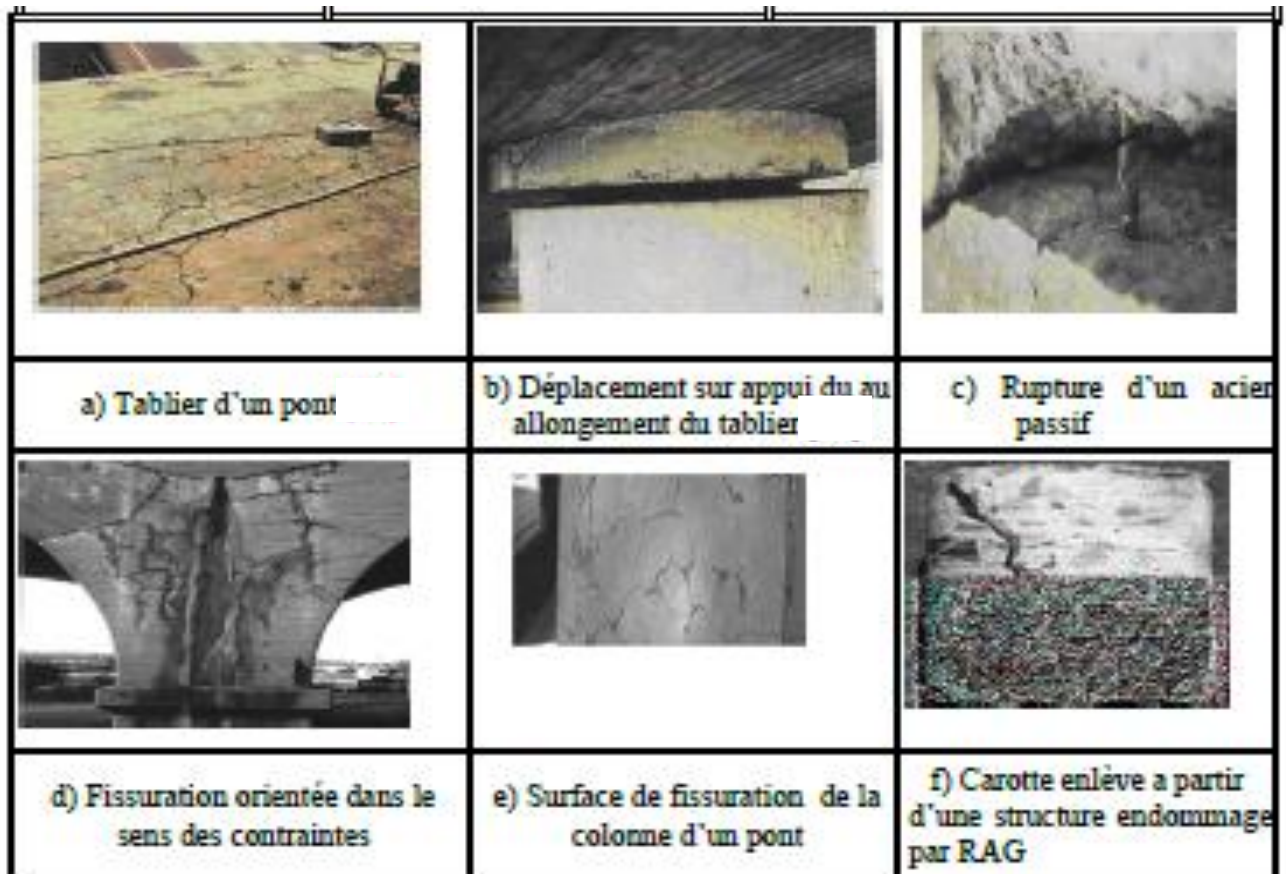


Figure I-8 : Exemples des dommages occasionnés par RAG

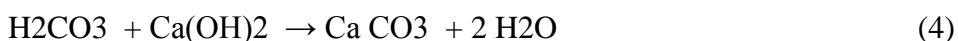
I.3.4.2 Carbonatation :

a) Définition : La carbonatation est le résultat de la réaction chimique entre les gaz de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et les constituants de la pâte de ciment hydratée susceptibles de réagir telle que : La portlandite Ca(OH)_2 , les silicates de calcium hydratés (C - S - H), les chloroaluminates et les sulfoaluminates Figure I.9.

Et comme de nombreux autres gaz, dioxyde de carbone se dissout dans l'eau pour former un acide faible (H_2CO_3) réagit avec la majorité des hydrates du ciment:



Contrairement à la plupart des autres acides, l'acide carbonique n'attaque pas la pâte de ciment, mais plutôt neutralise les alcalis dans l'eau interstitielle et principalement le carbonate de calcium sous l'équation :



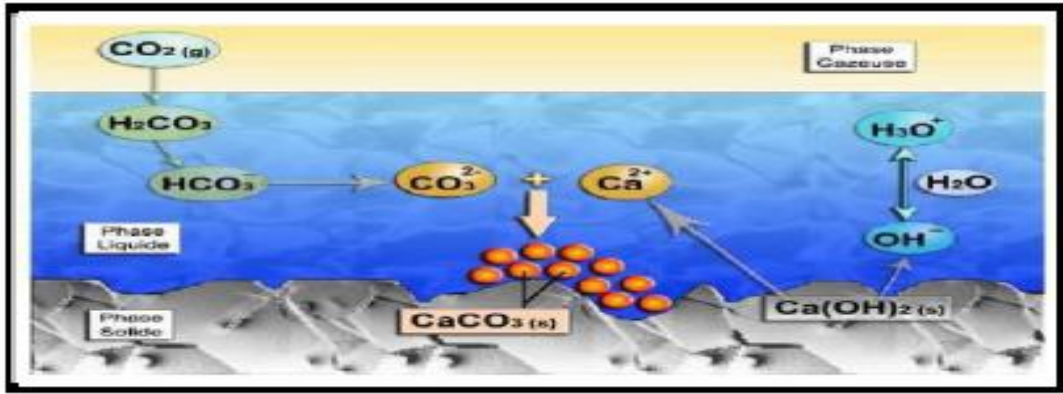
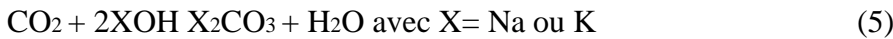


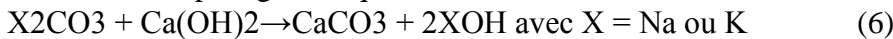
Figure I-9 : Mécanisme de carbonations de Ca(OH)₂

b) Les Mécanismes de carbonation :

En présence de bases alcalines, tel que NaOH ou KOH, la solubilité de la chaux est relativement faible et la réaction peut se ralentir, cependant ces bases alcalines se carbonatent aussi :

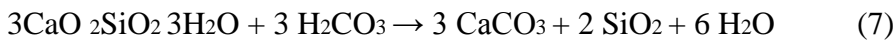


La carbonatation des bases alcalines augmente la solubilité de la chaux qui peut alors se carbonater en plus grande quantité.

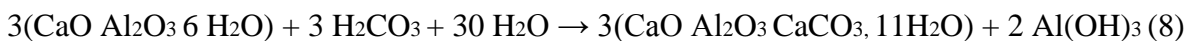


La portlandite est le composé le plus sensible à la carbonatation et qui réagit rapidement mais d'autres composés sont aussi sensible à l'attaque par le CO₂ en formant la calcite CaCO₃ tel que

➤ **Le silicate de calcium C-S-H :**



➤ **Les aluminates:**



➤ **Puis la carboaluminate** se décompose en alumine et carbonate:



➤ **L'ettringite** peut également se carbonater:

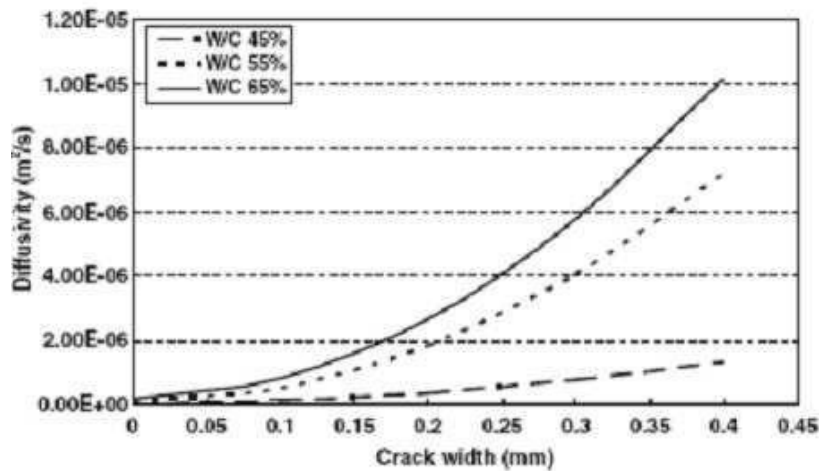


Figure I-10 : Effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO₂ pour différents rapports

Les facteurs influents sur la carbonatation :

- La propagation rapide du CO₂ à l'intérieur du béton
- Le rapport E/C très élevé ce qui implique une porosité excessive du matériau en zone superficielle
- Les conditions de la cure : pour étudier l'effet de cure du béton sous l'eau. Leur résultat sur des essais de carbonatation accélérée indique que les bétons conservés sous l'eau de 1, 3, 5, 7, et 28 jours présentent respectivement un taux de carbonatation de 66, 53, 42, 39, et 17 % par rapport à une cure dans l'air. L'ouverture des fissures : elles accélèrent également le transport des CO₂ Figure I.10.

1.3.4.3. La corrosion :

Des études faites à travers le monde montrent qu'au-delà de 80% des dégradations du béton armé sont provoquées par la corrosion des armatures, et qu'elle est la pathologie la plus fréquente qui absorbe la plus grande partie des ressources financières destinées aux activités d'entretien et de renouvellement des ouvrages de génie civil ; ceci est la preuve que ce phénomène doit être pris sérieusement en considération, afin d'éviter la corrosion des barres d'acier dans une structure de béton, nous avons besoin d'identifier l'origine des désordres rencontrés sur les ouvrages, connaître les mécanismes de la corrosion et par voie de conséquence déterminer les techniques de réparation et de réhabilitation.

a) Le mécanisme de Corrosion : deux types de réactions couplées correspondent au processus de corrosion/oxydation, ont lieu Figure I.11:

➤ Une réaction anodique :

Dans laquelle l'oxydation du métal correspondant, a la formation à partir de l'état métallique, d'ions passant en solution :

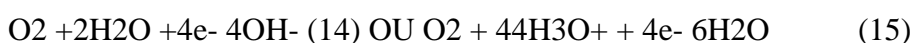


La cinétique de cette réaction est régie par la capacité du milieu électrolytique à accepter la présence d'ions ferreux Fe²⁺ ou ferriques Fe³⁺, la concentration de ces ions dépend de la nature des anions présents dans la solution et de la valeur de produit de solubilité des anions et des ions ferreux ou ferriques.

➤ Une réaction cathodique:

Corresponde à la réduction d'un oxydant présent dans la solution par capture d'électrons fournis par la cathode, Selon la disponibilité en oxygène de l'environnement, On obtient :

En l'absence d'oxygène :



Ces réactions principales d'oxydoréduction sont suivies des réactions secondaires de formation des produits de corrosion à la surface du métal :



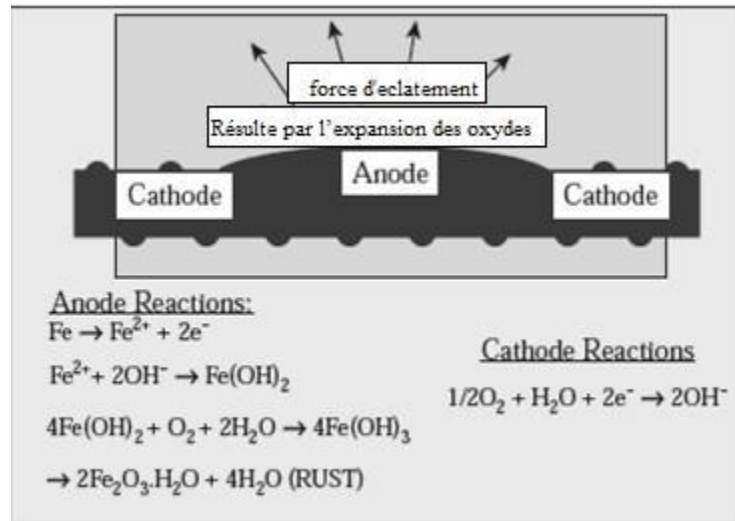


Figure I-11 : Le Mécanisme de la Corrosion

b) Les phases de dégradation Figure I.12:

➤ **Une période d'amorçage**, dite aussi période dormant, d'incubation ou d'initiation, durant laquelle la stabilité du système constitué par l'armature métallique noyée dans la matrice cimentaire du béton décroît progressivement et durant laquelle se créent les conditions favorables au développement de la corrosion. L'amorçage de la corrosion peut être provoqué soit par la carbonatation du béton d'enrobage, soit par la pénétration d'ions chlorure :

➤ **Une période de propagation**, Durant laquelle on observe, en premier lieu, la formulation de produits issus de la corrosion de l'armature. Les phénomènes électrochimiques de corrosion, décrits dans le paragraphe précédent, conduisent à la formation d'oxydes et d'hydroxydes de volumes supérieurs à celui de l'acier sain.

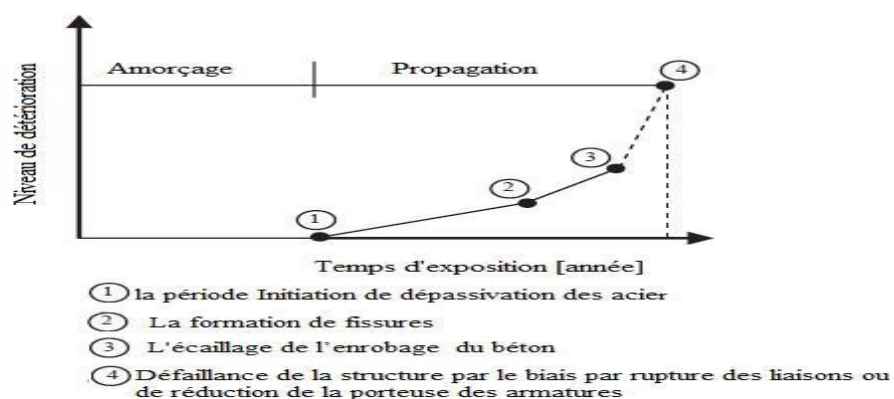


Figure I-12 : Les phases de la corrosion

c) Facteurs influents de la corrosion :

- **Influence de l'enrobage** : L'épaisseur de l'enrobage en béton détermine le temps que vont passer les espèces agressives pour arriver à l'armature, parfois la durée de vie d'une structure peut être fortement améliorée en augmentant l'épaisseur de l'enrobage, barrière mécanique freinant, voire stoppant la pénétration d'espèces participant à la corrosion des armatures.

- **Influence de la composition du béton** : le choix de la formulation du béton et de la nature de ses principaux constituants constitue une approche pour augmenter la résistance à la corrosion du béton. Toutes modifications de la formulation d'un béton produisant une augmentation de sa compacité ou une réduction de sa perméabilité ont généralement un effet favorable sur la résistance à la corrosion.

➤ Le rapport E/C a une très grande influence sur la porosité du béton: plus il est important, plus la porosité du béton est grande, facilitant ainsi la pénétration des espèces agressives puis la corrosion de l'acier, l'influence du rapport E/C est bien plus importante que le type de liant utilisé.

➤ Les ajouts minéraux, en faibles quantités, tel que les cendres volantes et les fumées de silice qui ont généralement une influence bénéfique puisqu'elles produisent une très nette diminution de la perméabilité, du coefficient de diffusion et de la conductivité du béton,

- **Influence de l'humidité** : L'effet du taux d'humidité, ou degré de saturation en eau, dans le béton est important car la vitesse de corrosion dépend fortement de ce taux, celui-ci influençant directement la conductivité, la résistivité électrique et la diffusion de l'oxygène.

- Pour des taux d'humidité inférieurs à 80%, l'oxygène atteint facilement les aciers mais la faible conductivité du béton limite la vitesse de corrosion.

- **L'influence de la fissuration sur la corrosion** : La présence des fissures facilite la pénétration rapide des agents agressifs par le béton d'enrobage jusqu' aux armatures qui sont aussitôt dépassivées.

- Les expériences des ouvrages montrent que les fissures parallèles aux barres sont plus dangereuses que les fissures perpendiculaires. Les résultats sont moins clairs en ce qui concerne l'influence de l'ouverture des fissures sur la pathologie. Un état de corrosion avancée est enregistré si l'ouverture des fissures dépasse 0,2 - 0,5 mm, ou l'auto colmatage est difficile et l'environnement est agressif.

- Les fissures accélèrent la corrosion induite par le chlorure en augmentant la pénétrabilité du béton, en général, l'augmentation de taux de la corrosion est proportionnelle à la largeur des fissures, mais elle est sensible à la qualité du béton.

d) Cas des ouvrages en béton précontraint :

- Les aciers de précontrainte du béton sont soit directement noyés dans le béton (précontrainte par pré-tension), soit placés dans des gaines qui sont ensuite remplies d'un coulis d'injection, de cire ou de graisse (précontrainte par post-tension). Les aciers tendus et directement au contact avec le béton, risquent la corrosion avec dissolution et formation de rouille, mais les mécanismes fondamentaux de la corrosion d'acier de précontrainte dans le béton sont essentiellement les mêmes que ceux pour les autres armatures, mais La ruine de la structure dans cette cas est difficile à prévoir.

e) **Désordres dus par la corrosion** : La corrosion des armatures a souvent pour conséquences des symptômes visibles sur le parement, tels que fissurations au droit des armatures, décollements de béton, éclats et épaufrures, mais attention, d'autres mécanismes peuvent être à l'origine de ces dégradations

« Les fissures créées par le gonflement de la barre consécutif à la formation de la rouille sont à différencier des fissures de retrait et des fissures de flexion ou d'effort tranchant...etc. » Figure I.13.

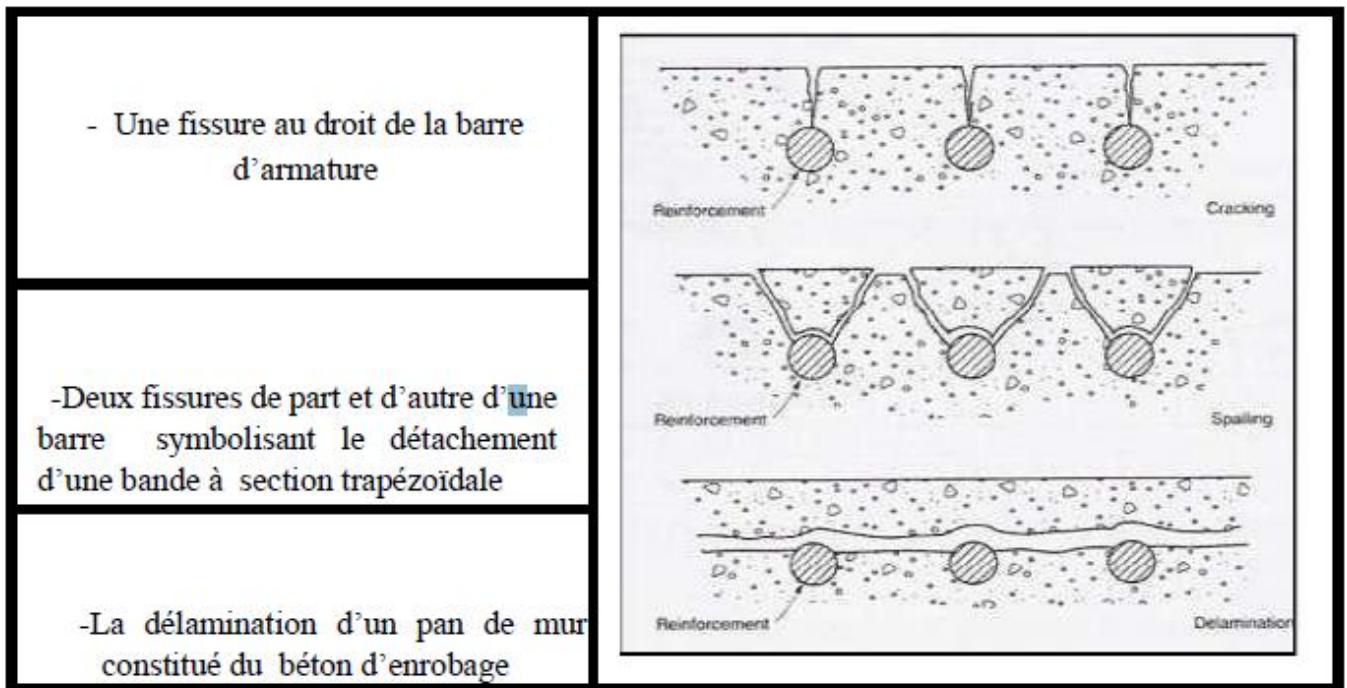


Figure I-13 : Types de fissures développées lors de la corrosion des aciers d'armature

1.3.4.4. L'attaque des Sulfatiques :

a) **Définition** : Les phénomènes à l'origine de l'attaque sulfatique ne sont pas parfaitement connus ni maîtrisés, elle est associée à la précipitation de produits sulfatés secondaires, d'une expansion importante et de la détérioration chimio-mécanique (modifications des propriétés de transport de la porosité, fissures, perte de résistance et de cohésion,...etc.). Ceci peut conduire à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé (type et rapport Eau/Ciment). On distingue l'attaque sulfatique interne, qui fait intervenir des sulfates déjà présents dans le béton, de l'attaque sulfatique externe qui se produit dès que les conditions externes sont réunies.

b) Les Produits Résultants de l'attaque :

Trois types de composés peuvent se former en fonction de la concentration en sulfate de l'eau, du pH environnant, et de la température Figure I.14:

L'ettringite, Le gypse et La thaumasite.

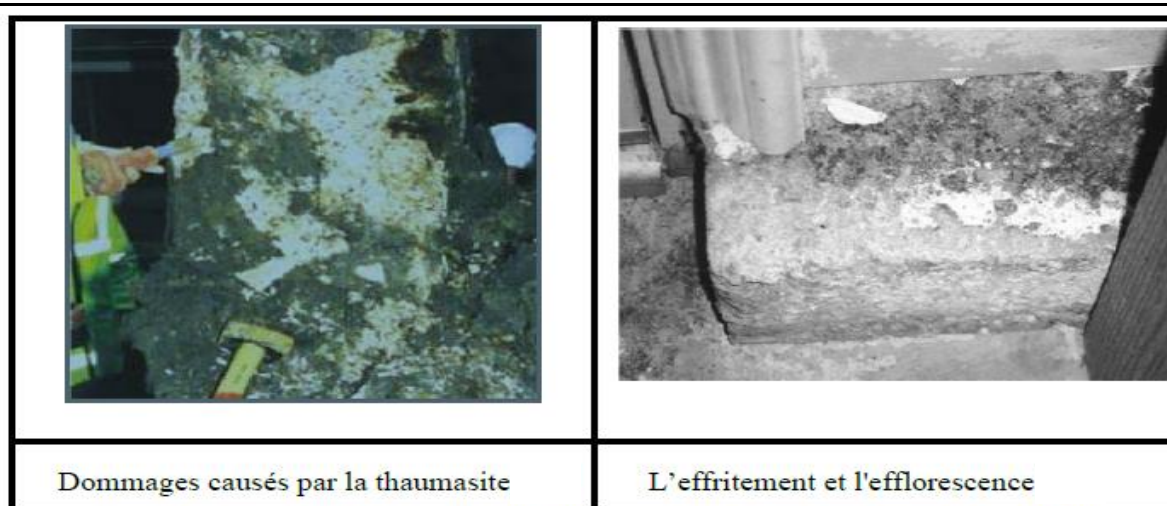


Figure I-14 : Exemples des structures attaquées par les sulfates

1.3.4.5 Les conséquences des réactions Sulfatiques :

Les mécanismes complexes d'attaque des sulfates peuvent conduire aux diverses modifications chimiques et physiques dans le béton.

a) Les modifications chimiques elles peuvent inclure ce qui suit :

- 1- Une élimination de Ca^{2+} + de certains produits d'hydratation (par exemple: décomposition d'hydroxyde de calcium et de C-S-H, ou les deux);
- 2- Changements inhabituels dans la composition de la solution interstitielle;
- 3- Formation de silice hydratée (gel de silice);
- 4- Décomposition des minéraux du clinker non hydraté encore;
- 5- Dissolution des produits d'hydratation préalablement formés;
- 6- Formation d'ettringite (supérieure à celle formée à partir de sulfate d'origine dans le ciment), le gypse et traumatise ;
- 7- Formation de magnésium contenant des composés tels que l'hydroxyde de magnésium (brucite $Mg(OH)_2$) et d'hydrate de silicate de magnésium;
- 8- Recristallisation répétée de l'anhydrite sulfate de sodium (thénardite- Na_2SO_4) à la forme sulfate de sodium déca-hydraté (mirabilite $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)
- 9- La pénétration dans le béton des espèces ioniques et la formation ultérieure et de cristallisation des sels tels que $NaCl$, K_2SO_4 , $MgSO_4$...etc.

b) Les modifications physiques.

Les changements physiques visibles sont la conséquence des changements chimiques au-dessus et peut inclure :

-
- 1- Une restructuration complète de la structure des pores et de la microstructure solides, qui mène à l'augmentation de la porosité et de la perméabilité;
 - 2- Une expansion volumétrique et une génération des microfissurations;
 - 3- Formation de circonférence complète ou partielle des jantes ou des lacunes (des fissures d'expansion coller) autour des particules d'agrégats;
 - 4- Surface de l'écaillage, délamination, l'effritement et l'efflorescence ;
 - 5- Une diminution de la dureté qui est le résultat de la dulcification de la pâte,;
 - 6- Dépôts de sels sur les surfaces et les fissures d'exfoliation;
 - 7- Une perte de résistance mécanique ce qui implique la diminution de module d'élasticité

1.3.4.6. Attaque des Chlorures :

a) Définition :

Les Chlorures peuvent attaquer le béton de plus d'une source, le premier est à l'intérieur du béton pendant le processus de gâchage, la seconde est de se déplacer en béton de l'extérieur vers l'intérieur.

Les chlorures de sources internes existent en raison des éléments suivants :

- En utilisant l'eau de mer dans le béton ;
- En utilisant du chlorure de calcium dans les additifs nécessaires pour accélérer le temps de prise ;
- En utilisant des agrégats qui contiennent des chlorures ;
- En utilisant des additifs qui ont une teneur plus élevée en chlorure de celle qui est définie dans la spécification normative ;
- Dans les cas où l'eau utilisée dans le mélange de béton à un nombre plus élevé d'ions chlorure à celle autorisée par les normes.

Les chlorures peut se propager à l'intérieur de béton de l'environnement externe par :

- béton exposées à des embruns de l'eau de mer ou une exposition continue à l'eau salée ;
- l'utilisation du sel de déverglace.

Dans la plupart des cas, l'impact des chlorures provient de sources externes, mais l'effet des chlorures sur les structures et essentiellement dans le cas de corrosion se produit très rapidement en cas de chlorures existant dans l'eau de gâchage par rapport à l'effet des chlorures de conditions environnementales entourant l'ouvrage. Cela arrive souvent dans une structure ou le mélange de béton peut contenir l'eau de mer.

B- Les conséquences de l'attaque des Chlorures

L'attaque des chlorures se distingue par l'entraînement de la corrosion des armatures avec une présence suffisante d'O₂ et H₂O pour soutenir la réaction.

Les chlorures ayant atteint l'armature attaquent l'acier, initialement passivé, en certains points localisés. Le film passif est alors détruit localement et laisse apparaître des zones anodiques où l'acier est dissout, le reste de la surface qui est encore passivée correspond aux zones cathodiques Figure I.15.

La surface des zones cathodiques étant bien plus importante que celle des zones anodiques, la dissolution de l'acier croît en profondeur plutôt qu'en surface de l'acier, formant ainsi des piqûres ou des cavernes

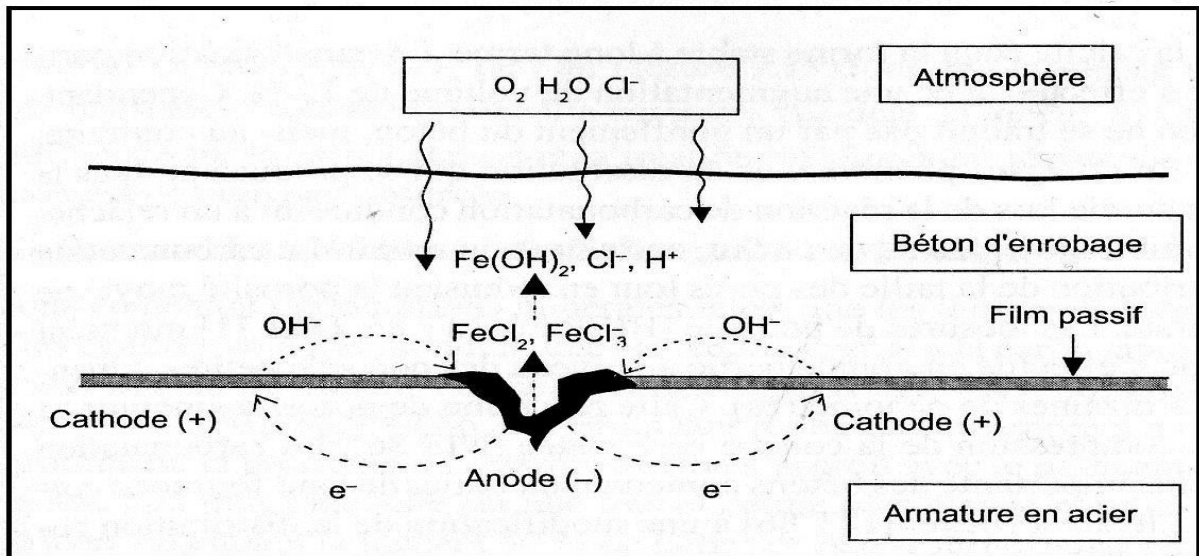


Figure I-15 : Mécanisme de la corrosion électrochimique en présence des chlorures



Figure I-16 : Piqure profonde causée par une attaque de chlorure

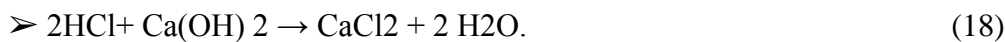
1.3.4.7. Action Des Acides :

A- Définition :

L'action des acides (comme la substance agressive) sur le béton durci (Comme la substance réactive) traduit par la transmutation des composés de calcium (Hydroxyde de calcium hydraté de calcium, le silicate et d'aluminate de calcium hydraté) aux sels de calcium. [TELFORD 1997]

Tell que :

- L'action de l'acide chlorhydrique conduit à la formation de chlorure de calcium, qui est très soluble ;



-acide sulfurique donne du sulfate de calcium, qui précipite sous forme de gypse ; -d'acide nitrique donne nitrate de calcium, qui est très soluble.

Avec des acides organiques, le résultat est le même - l'action de l'acide lactique conduit à des lactates de calcium, -acide acétique donne l'acétate de calcium, et ainsi de suite.



Acide acétique Hydroxyde de calcium Acétate de calcium

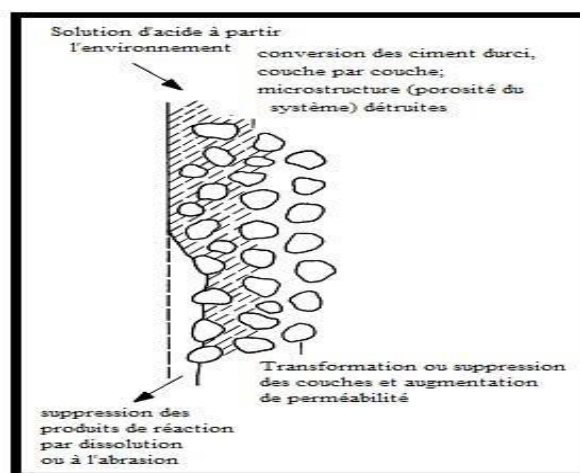


Figure I-17 : Mécanisme des attaques par les acides

Le taux de réaction des différents acides avec du béton n'est pas déterminée par l'agressivité de l'acide, mais par la solubilité du sel de calcium qui en résulte Figure I.17.

I.4. Symptômes de la dégradation du béton :

I.4.1. La Fissuration :

A. Définition :

En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure (hypothèse de Griffith 1920). La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanente ou des surcharges ou lors du déplacement des charges.

B. Mécanismes de Formation des Fissures

> Fissuration gouvernée par des contraintes de traction:

On a deux étapes à distinguer :

- Une microfissuration se développe au sein du matériau.
 - Les microfissures se connectent pour créer une ou plusieurs macro-fissures, c'est une phase de localisation de la fissuration.
 - Les macro-fissures se propagent, conduisant à la rupture du volume du matériau considéré.
- Fissuration gouvernée par des contraintes de compression

On a trois étapes encore à distinguer :

- Les microfissures sont créées aléatoirement au sein de l'éprouvette. Ce caractère aléatoire est lié à l'hétérogénéité du matériau et à l'existence de points durs (les granulats), l'orientation des fissures, quant à elle, est gouvernée par la différence de raideur de la pâte de ciment et des granulats.

Les microfissures se rejoignent pour former des macro-fissures, toujours orientées

Parallèlement à la direction de la sollicitation, délimitant ainsi des « colonnettes ».

- Des fissures obliques apparaissent à l'intérieur des « colonnettes ». Ces fissures obliques se rejoignent pour former un plan de glissement également oblique à l'échelle de l'éprouvette.

C. Les Caractéristiques Des Fissures

Les caractéristiques des fissures se résument en

- **L'âge et l'évolution:** il nous permette de connaître la cause de génération mais d'une façon approximative; La figure suivante montre l'âge de l'apparition des fissures Figure I.18.

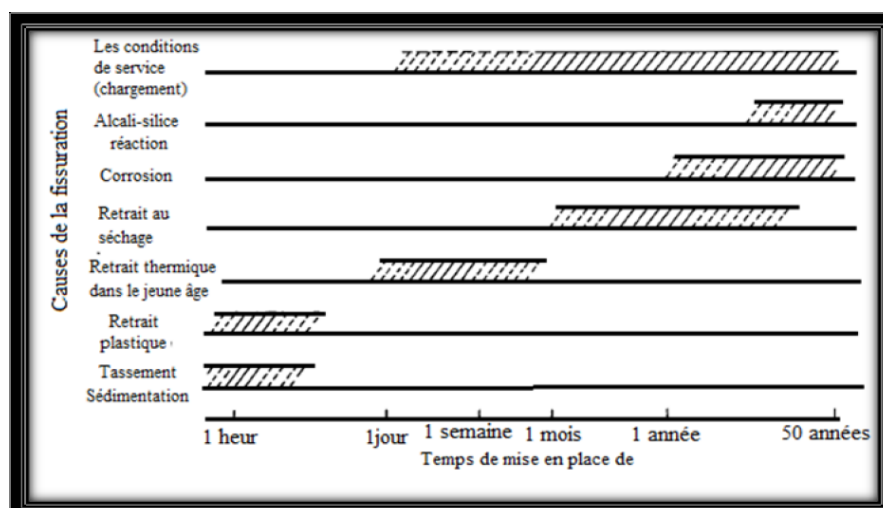


Figure I-18 : Age d'apparition de fissures à partir mise en place du béton

D. Classification des Fissures selon leur Morphologie:

Il est possible de classer les fissures selon leur morphologie, ce type de classement fait appel uniquement aux apparences et pour qu'il soit efficace, les observations doivent être faites de la manière la plus objective et la plus neutre possible Figure I.19.

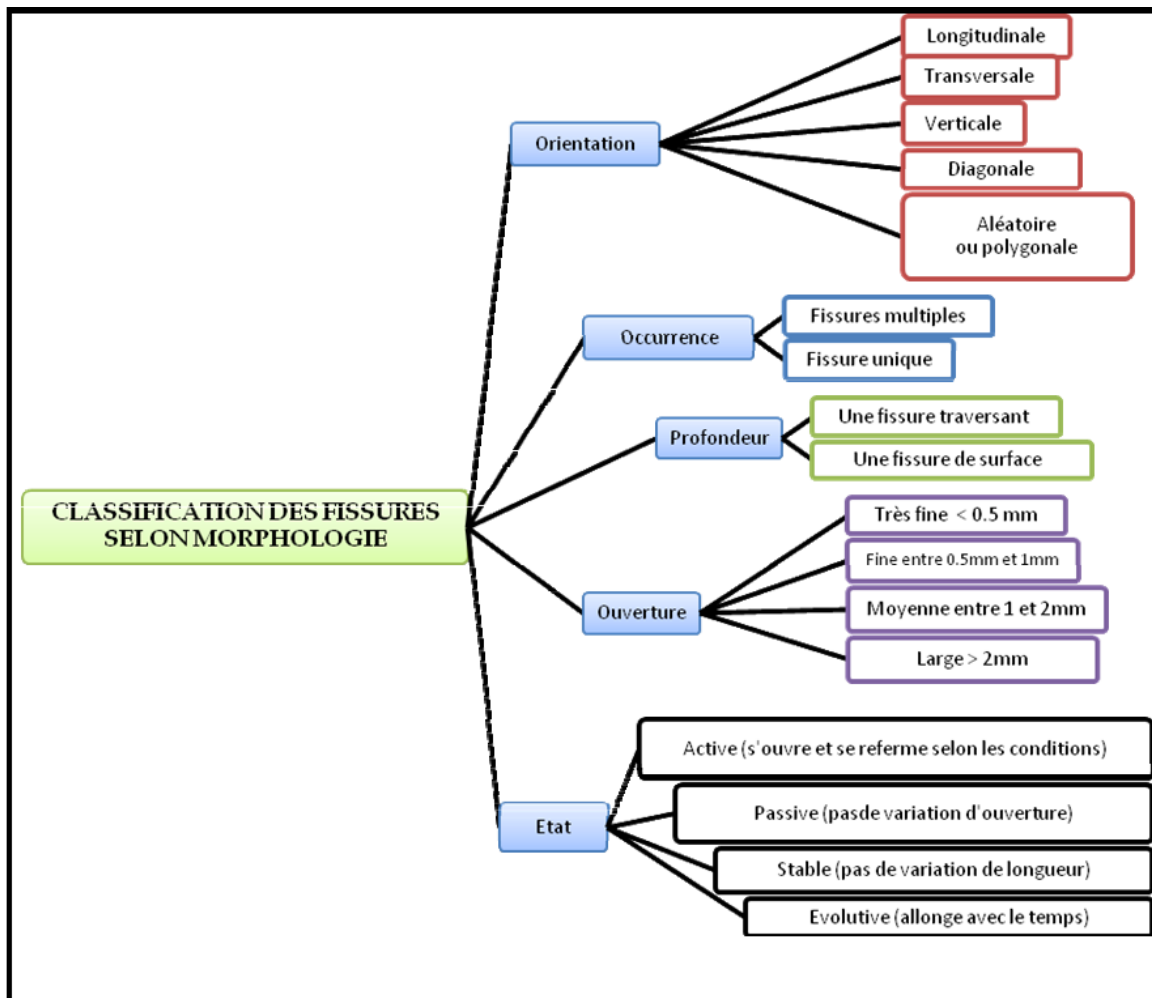


Figure I-19 : Classification des fissures selon leur morphologie

E. Les Différentes causes de fissurations :

Plusieurs phénomènes et mécanismes peuvent être à l'origine de l'apparition des fissures, un ou une combinaison de plusieurs mécanismes peuvent être en cause, agissant simultanément ou séquentiellement. Un aperçu des principales causes de fissuration est présenté à la Figure I.20 ainsi que leur position dans l'ouvrage.

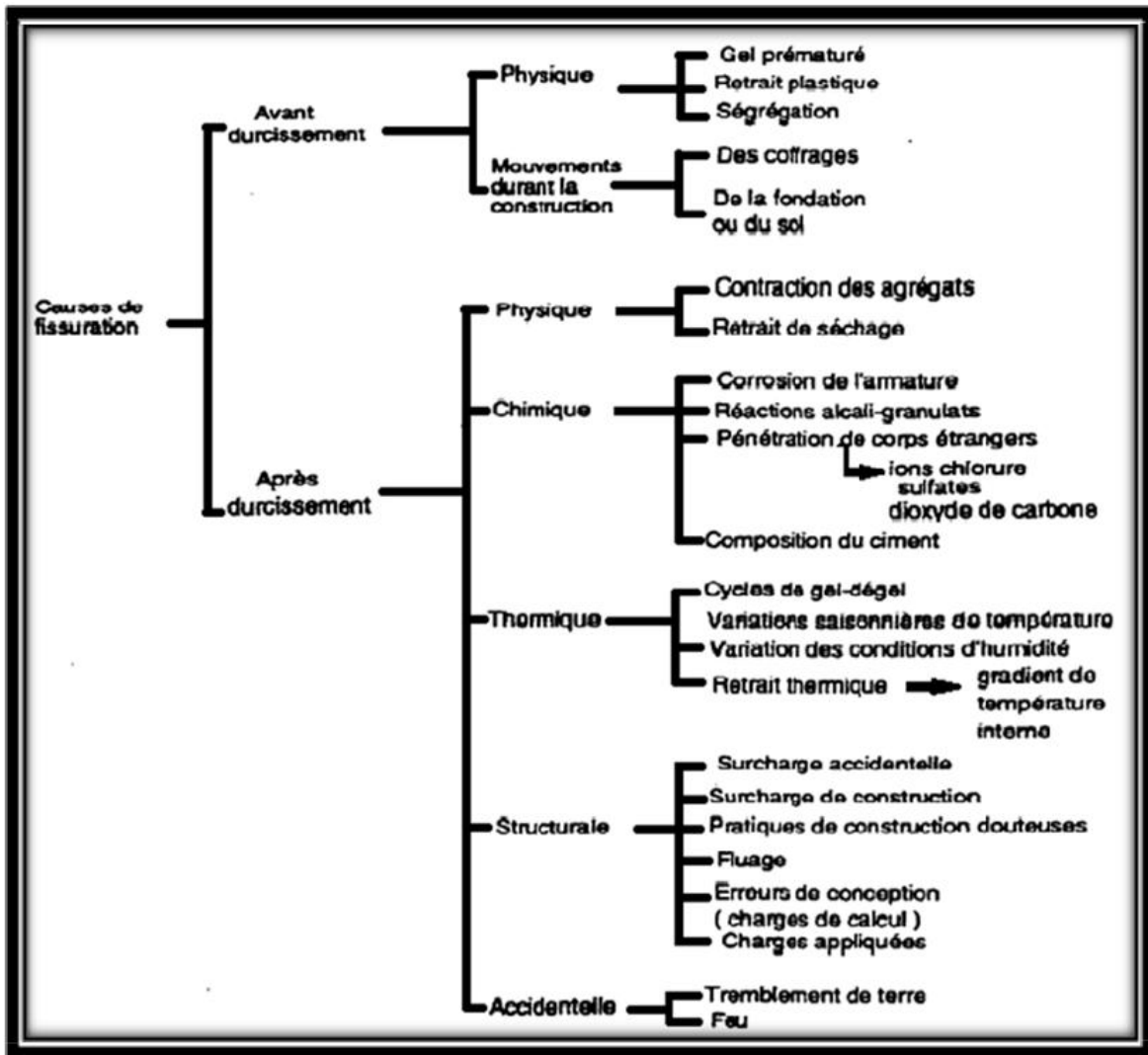


Figure I-20 : Les différentes causes de fissuration

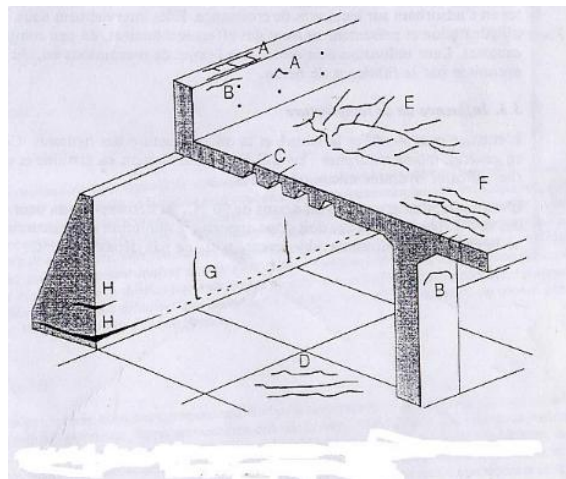


Figure I-21 : Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage

Table I-2 : Causes des différentes sortes de fissurations et les Précautions pour l'éviter.

Type de fissuration	Position sur la Figure	Sous division	Localisation la plus fréquente	Cause première (exceptés retrait)	Causes secondaire (facteur)	remèdes	Délais d'apparition
Tassement, Sédimentation Du béton frais	A	Proximité Des armatures et des étrépillons	Grande hauteur	Excès de ressuage	Conditions de séchage au jeune âge trop rapide	Réduire le ressuage ou vibration plus soutenue	10mn à 3h
	B	Effet des voûtes	Partie haute des colonnes				
	C	Changement d'épaisseur					
Retrait plastique	D	Diagonal	Chaussées et dallages	Dessiccation rapide du béton frais	Vitesse de ressuage faible	Améliorer la cure au jeune âge	30mn à 6 h
	E	Aléatoire	Dalles armées				
	F	Proximité des armatures	Dalles armées	Dessiccation du béton plus armatures en surface			
Retrait thermique endogène	G	Déformation empêchée par l'extérieur	Mur épais	Exothermie Trop importante	Refroidissement rapide	Réduire la chaleur et/ou isoler	1 j à 2 ou 3 semaines
	H	Déformation empêchée par l'intérieur	Pièces épaisses	Gradient de température élevé			
Retrait de dessiccation exogène	I		Murs et dalles minces	Distance insuffisante entre les joints	Retrait excessif, cure inefficace	Réduire le dosage en eau, améliorer cure	Quelques semaines ou mois
divers	J	Contre les coffrages	Surface laide	Coffrage imperméable	Formule riche en ciment, mauvaise cure	Améliorer la cure et la finition	1 à 7 jours, parfois plus tard
	K	Béton de surface	dalles	Talochage excessif			
Corrosion des armatures	L	naturel	Colonnes et poutre	Enrobage insuffisant			
Réaction alcali-silice	M		Sites humides	Granulats réactifs et teneur en alcalis élevée		Eliminer les causes	Plus de 5 ans
Réaction alcagranulaire	N		Les emplacements humides	granulats réactifs plus ciment alcalin		Eliminer les causes de réaction	

I.4.2 Défaut d'exécution

Cela inclut les questions de consolidation tels que les poches de roche, les vides en nid d'abeille, des trous de bugs, et des stries de sable qui peuvent résulter de vibrations incorrecte, mélange sec, sans super Plastifiant, mélanger trop mouillées, l'espacement des barres d'armature incorrecte ou mauvaise sélection des agrégats Figure I.22.



Figure I-22 : Défaut de mal exécution des travaux

I.4.3. La ségrégation :

Variation dans la répartition des éléments du béton, se traduisant par des concentrations différentes des composants du béton. Une ségrégation dans la masse de l'ouvrage conduit à un affaiblissement de sa résistance et une diminution de son étanchéité Figure I.23, Tableau I.3.



Figure I-23 : Ségrégations

Table I-3 : Les principaux symptômes de la dégradation du béton

	Fissures	Épaufrures	Écaillage	Désagrégation	En activité ou en évolution
Carbonatation					
Corrosion des armatures	X	X			OUI
Dégradation interne (alcali-réaction,...)	X				OUI
Attaque bactériologique	X			X	OUI
Attaque sulfatique (externe)	X		X	X	OUI
Retrait, tassement	X				NON
Gel-dégel	X		X	X	OUI
Chocs	X	X			NON
Abrasion, érosion				X	OUI
Défauts d'exécution	X	X			NON
Incendie	X		X	X	NON

I.4.4. Eclatement localisé :

Sont le résultat de réactions alcali-silice se déroule dans le béton comme des fragments conique apparaissant à la surface du béton en laissant de petits trous, des pertes des particules seront généralement trouvés au fond du trou Figure I.24.



Figure I-24 : Eclatement localisé

I.4.5. Délamination :

L'action conjuguée des sollicitations climatique, des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton constitutif des hourdi de pont à provoquer des « Délamination » du béton sur un nombre considérable d'ouvrages d'art. Dans les cas les plus graves, cette pathologie aboutit à la chute de plaques de béton et à la création de trous dans les tabliers de pont. Le délaminage est la séparation des couches de béton ou à proximité de la couche extérieure de l'acier d'armature. Le délaminage est causé par l'expansion de la corrosion d'armature en acier et peut conduire à la fissuration sévère. La rouille peut occuper jusqu'à dix fois le volume de l'acier corrodé qu'il remplace Figure I.25.

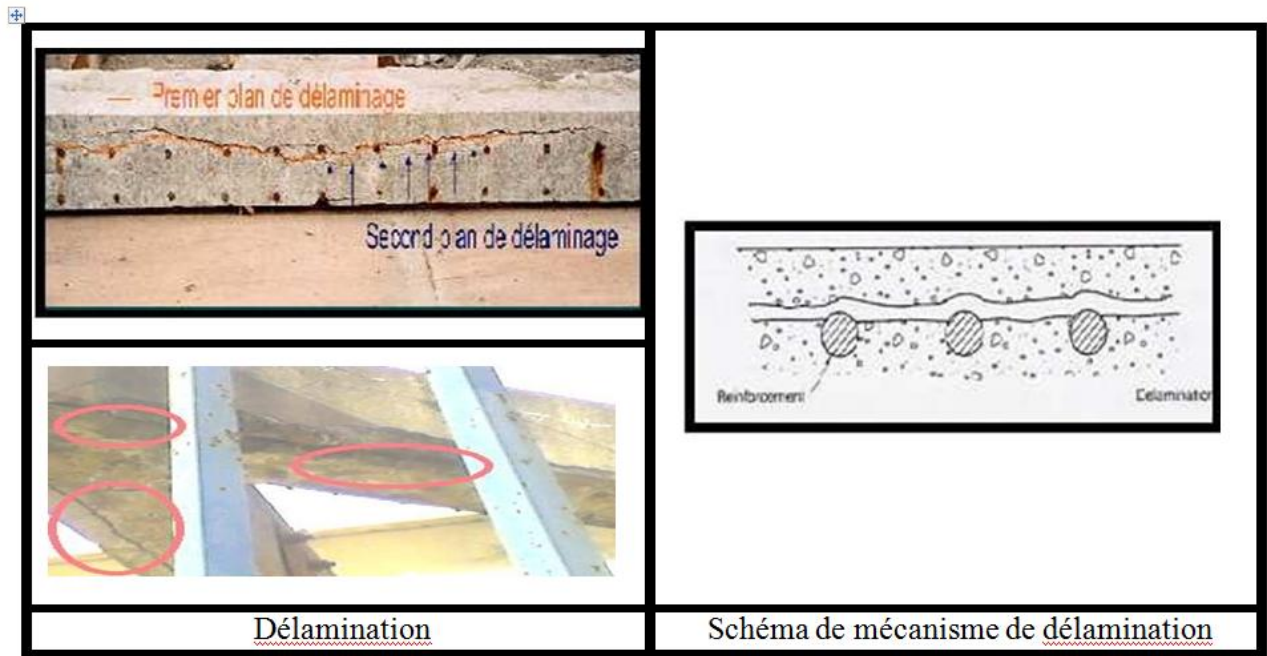


Figure I-25 : Délamination

I.4.6. L'écaillage :

L'écaillage est un phénomène de désagrégation des surfaces de béton provoqué par leur exposition au gel/dégel en présence d'humidité ou de sels déglacant. Généralement, son apparition commence par de

petites zones localisées, qui par la suite peuvent se rejoindre, s'étendre et affecter de grandes surfaces. Lors d'un écaillage léger, les gros granulats restent enrobés dans la pâte.

Pour l'écaillage modéré, la perte d'épaisseur du mortier de surface peut aller de 10 à 15 mm et engendrer la dénudation des granulats. Dans le cas d'un écaillage important, la surface est détruite sur une grande épaisseur et elle est caractérisée par une dénudation et occasionnellement par un arrachement des granulats.

I.4.7. Epaufiture :

Défaut de surface dû à un choc ou à des intempéries sur le parement ou l'arête d'un élément de béton durci ou d'un bloc de pierre, dans une construction Figure I.26.



Figure I-26 : Epaufiture

I.4.8. Faiçonnage :

Le phénomène de faiçonnage se manifeste à la surface du béton et affecte son apparence. Il est reconnaissable à la formation sur la dalle de fissures très minces, dont la dimension moyenne varie de 10 mm à 40 mm. Ces fissures se présentent en réseaux plus ou moins hexagonaux. Elles se développent rapidement, pouvant atteindre une profondeur de 3 mm, et apparaissent dans les jours suivant la finition du béton. Souvent, le faiçonnage est seulement visible lorsque la surface est mouillée et commence à sécher. Problème d'ordre esthétique, le faiçonnage affecte rarement la durabilité de la surface ou la résistance de la dalle de béton Figure I.27.



Figure I-27 : Phénomène de faiçonnage

I.4.9. Lichen :

Lichen est un champignon qui grandit avec les algues et se propage sur la roche, des arbres, béton et autres surfaces solides pour créer une substance de la croûte comme. Lichen est plus fréquent dans les climats humides et à proximité des plans d'eau, comme les lacs, les rivières, les ruisseaux ou des étangs. Nettoyage lichen hors du béton peut être un défi, mais il est possible de supprimer certains articles de la quincaillerie jumelé avec un nettoyage agressif Figure I.28.



Figure I-28 : Lichen sur la structure

I.4.10. Efflorescence :

L'efflorescence est le résultat de l'hydrolyse des composants de la pâte de ciment dans le béton. L'efflorescence est indiquée par la présence des dépôts blancs sur le béton, le plus souvent sur le dessous des ponts et viaducs et indique que l'eau utilisée dans le processus de mélange de béton a été contaminé Figure I.29.



Figure I-29 : Efflorescence

I.5. Conclusion :

On a vu dans ce Chapitre que tous les mécanismes de dégradation des matériaux et perte de performance ou de comportement sont dus par plusieurs facteurs qu'on ne peut pas les maîtriser tous, donc la notion de la structure parfaitement durable c'est une notion irréalisable, cette vulnérabilité des structures nous exige à faire recours à des réparations ou des renforcements à travers le cycle de la vie de l'ouvrage.

A cet effet il nous faut plus de la compréhension des mécanismes dégradant, la maîtrise des méthodes des détections des causes et pathologie ainsi que celles des séparations entre ces pathologies pour l'élaboration d'un diagnostic le plus juste possible.

II. CHAPITRE II : Méthodes de diagnostic et investigation.

II.1 Introduction :

De nos jours, le béton est un des matériaux de construction les plus usuels. Ce matériau, outre ses nombreux avantages, évolue et réagit avec son environnement. En effet, au cours du temps, les ouvrages en béton armé développent de nombreuses pathologies (corrosion des aciers, gel-dégel, fluage, réactions chimiques, etc.). Sous l'action de ces agressions physico-chimiques, ce dernier se dégrade et présente alors des désordres allant de la simple fissure à la détérioration structurale grave. La majorité des infrastructures existantes ont été construites avec ce matériau et cela depuis plus d'une cinquantaine d'années. Ce patrimoine national est donc vieillissant ce qui nécessite un entretien et un suivi régulier. Cependant, la maintenance des ouvrages de ce patrimoine bâti est très onéreuse. Une démarche scientifique rigoureuse est donc nécessaire pour réduire ce budget par la mise en place d'outils visant à optimiser et fiabiliser le diagnostic structural des ouvrages.

II.2 Pourquoi un diagnostic ?

Le diagnostic d'un ouvrage au sens large du terme permet d'évaluer dans quelles mesures il remplit ses fonctions structurelles et de service, c'est-à-dire de vérifier qu'il satisfait aux conditions de sécurité et d'utilisation qui sont définies par la réglementation et par les besoins de son propriétaire ou usagé. Le vieillissement d'un ouvrage est marqué par l'apparition de désordres spécifiques. Dans le cadre d'un diagnostic, deux types de missions peuvent être réalisées :

- Sur un ouvrage sain, il peut vouloir estimer, vérifier ou contrôler les caractéristiques de la construction, c'est notamment le cas des ouvrages à « caractère exceptionnel » (grand ponts...etc.) ou des structures innovantes dont il souhaite connaître le comportement en service ;
- Sur un ouvrage supposé endommager : l'inspection visuelle ou l'auscultation peut alors être utilisée pour détecter l'endommagement ;
- Sur un ouvrage visiblement endommagé dont les désordres sont susceptibles ou non de s'aggraver ou de mettre en cause la sécurité : il peut faire appel à l'auscultation pour caractériser l'endommagement (gravité de l'endommagement, étendue spatiale...etc.).

Le diagnostic peut avoir principalement deux finalités. Dans un premier temps, il peut être demandé de suivre l'évolution des différentes pathologies dans le temps, que ce soit à court, moyen ou long terme. Cela permet d'évaluer le comportement de l'ouvrage sous l'effet de ces troubles, de voir s'il y a une stagnation du phénomène ou s'il y a une dégénérescence, auquel cas il est important de prévoir des réparations. L'autre finalité d'un diagnostic c'est de répertorier tous les désordres, mais aussi la constitution de chaque élément, en vue d'un traitement immédiat.

II.3. Les données nécessaires pour la surveillance d' un ouvrage :

Pour mettre en application une surveillance rigoureuse à un ouvrage, les données nécessaires se répartissant comme suit :

II.3.1. Les données de recensement

Elles renseignent ce qui suit :

- *La localisation du pont.
- *Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage.
- * Le type d'ouvrage et les matériaux utilisés dans sa construction.

-
- * L'importance historique du pont.
 - * La possibilité et la longueur de déviation en cas de nécessité.
 - * L'importance de réseau dans lequel se trouve le pont.
 - * L'année de construction du pont.
 - * La charge admissible ainsi que l'historique de réparation si elle existe.

II.3.2. Les données d'évaluation

Les données permettant l'évaluation de l'endommagement d'un ouvrage en béton sont nombreuses. On peut alors classer les informations distinguées en trois catégories selon leur origine ou leur nature:

* **caractéristiques de l'ouvrage** : mesure de l'épaisseur de béton, mesure de l'enrobage des barres d'armatures dans un béton armé, positionnement et dimensionnement du ferrailage passif/actif, localisation des joints de coulées ...etc.

* **caractéristiques du matériau** : caractérisation de la composition, évaluation de l'ensemble des caractéristiques mécaniques et physique des matériaux.

* **caractéristiques pathologiques** : détection et localisation des parties d'un ouvrage atteinte d'alcali-réaction, détection et quantification des zones d'un ouvrage contaminées par des chlorures, détection, localisation et dimensionnement de vides ou d'hétérogénéités (fissures, microfissures, délaminations, nids d'abeille)...etc.

II.3.3. Les données décrivant le niveau de service rendu

S'obtiennent en comparant le niveau de service, effectivement offert par le pont, avec le niveau de service actuellement requis par rapport à un nouveau pont que l'on construirait sur le même réseau ou pour une nouvelle condition du trafic sur le même réseau. À cet effet on peut conclure que ces données permettant l'évaluation de l'état de gravité des ouvrages et le type d'insuffisance soit :

- l'insuffisance structurelle
- signifie que le pont n'a plus sa résistance mécanique originelle, à cause de sa dégradation ; il ne peut donc plus supporter sans risques le trafic pour lequel il a été conçu. En conséquence, il doit être limité en charge, ou en vitesse, ou en nombre de voies de circulation, voire fermé complètement au trafic ;
- l'insuffisance fonctionnelle
- signifie que la conception originelle du pont l'a rendu inadapté aux nouvelles conditions du trafic, à cause par exemple, d'une insuffisance des charges admissible, ou du gabarit, ou de la largeur utile.

II.4. Différents Types De Surveillance

Tout au long de sa vie, l'ouvrage devra être soumis à des inspections, de plusieurs types ou niveaux, afin de savoir l'état.

II.4.1. Inspection visuelle

II.4.1.1. Définition

Appelée aussi « de routine », « continue » ou « préliminaire », les inspections visuelles représentent les sources principales d'information relevées pendant les inspections principales. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis des conditions de

l'élément dégradé. Plusieurs méthodes de classification basées sur les caractéristiques de ces désordres sont disponibles dans la littérature, notamment IQOA, 1996, ACI.

II.4.1.2. La Procédure IQOA, 1995

Présente des catalogues de désordres destinés à faciliter la cotation des ouvrages en application de la méthodologie I.Q.O.A. (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art). Chaque catalogue traite des principales dégradations qui peuvent atteindre des éléments structuraux spécifiques, tel que le tablier et les piles, d'un type d'ouvrage comme les ponts à poutres sous chaussée, les ponts dalle en béton armé, les ponts voûtés en béton armé... Tableau Des catalogues de défauts relatifs aux équipements et aux éléments de protection sont aussi proposés. La qualité des ouvrages est donc vérifiée selon 6 classes d'état Tableau II.1:

Table II-1 : Extrait de la classification des défauts des poutres pour les ponts à poutres sous Chaussées en béton armé selon la méthodologie I.Q.O.A.

Classe 1	Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art.
Classe 2	Ouvrage, – dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, – ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.
Classe 2E	Ouvrage, – dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, – ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3.
Classe 3	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence.
Classe 3U	Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation URGENTS liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.
Classe NE	Ouvrage non évalué.

II.4.1.3. La Référence ACI, 1993

Présente une méthode de classification visuelle des dégradations à partir d'une codification Tableau II.2. Celle-ci est attribuée sur l'identification et la description du désordre. Il fournit aussi les causes probables et suggère les détails qui doivent être collectés pendant l'inspection. Le Tableau II.2 représente un extrait de la méthode de classification proposée par ACI, 1993. On note, dans les situations illustrées, que l'investigation ne concerne pas seulement les dégradations de la structure provoquées par la corrosion (B2 et C4).

Table II-2 : Inspection visuelle – Classification simplifiée de dommages ACI.[ACI 1993]

Codification	Identification du dommage	Description	Causes	Données collectées
A1	fissures	fissuration superficielle ou profonde du béton	surcharges ou corrosion	direction de la fissure, longueur, profondeur
B2	efflorescence	couche blanche déposée sur la surface	Lixiviation des hydroxydes avec ou sans formation de carbonates	Définition de la surface affectée et de la quantité de produit (stalactites)
B3	taches d'oxydes	taches de couleur marron	corrosion de l'armature	localisation, intensité, dommages
B4	taches d'humidité	zones superficielles du béton avec des indices d'humidité	traces d'écoulement et de condensation	surface affectée
C3	détachement du béton de l'enrobage	morceaux de béton détachés	pression interne provoquée par les produits de la rouille ou par les chocs	surface affectée et profondeur
C4	intempérie	lixiviation de la surface du béton	action de l'environnement	surface affectée et profondeur

II.4.1.4 Outils et équipement pour l'inspection visuelle

En cours de l'inspection visuelle l'ingénieur doit être bien équipé avec des outils pour faciliter l'inspection. Il s'agit notamment d'une série d'accessoires courants tels que les rubans de mesures, décimètre, des marqueurs, des thermomètres, des anémomètres et autres. Jumelles, télescopes, ou autres instruments un peu plus chers tel que les fibroscopes qui sont utiles lorsque l'accès est difficile. Un microscope de largeur des fissures ou une Jauge de profondeur, tandis qu'une loupe ou un microscope portable est pratique pour l'examen de près. Un bon appareil photo avec un bon zoom nécessaires et des microlentilles et autres accessoires, tels que des filtres polarisés, facilite la documentation picturale de défauts, et un tableau des couleurs portables est utile pour identifier les variations dans la couleur du

béton. Un ensemble complet de dessins adaptés montrant des vues en plan, élévations et les détails structuraux permettant l'enregistrement des observations à faire.

II.4.1.5 Objectifs de l'inspection visuelle

L'inspection visuelle sert à

A-la Localisation : la localisation d'un désordre sur l'ouvrage permet de cibler d'emblée les zones à traiter de manière urgente et de choisir les travaux en fonction des contraintes d'accès

B-la quantification : Ceci a pour but de connaître l'étendue des désordres et donc d'évaluer les méthodes les plus adaptées pour effectuer les réparations

C- la Qualification : La qualification permet de savoir à quel désordre on est confronté et donc quel type de traitement/réparation est à mettre en place.

D- la Comparaison : Une comparaison de l'état de l'ouvrage est effectuée par rapport à l'état précédent ou par rapport à un état de référence et cela en vue de déceler et de signaler à temps toute nouvelle anomalie ou toute évolution anormale d'une anomalie existante.

E- Procès –verbal : L'inspection visuelle est sanctionnée par un procès-verbal, comportant notamment les renseignements sur la situation de l'ouvrage et l'obstacle franchi, les détails de conception de l'ouvrage (longueur, largeur, fondations, appuis, type de tablier, équipements, ...), les renseignements sur les conditions de la visite, le relevé succinct des dégradations et une appréciation sur l'état de l'ouvrage

II.4.2 Inspection détaillée

L'Inspection détaillée est réalisée par un organisme spécialisé avec soins et détails, en utilisant tous les moyens d'accès nécessaires pour accéder aux différentes parties et éléments de l'ouvrage, ainsi que l'outillage adéquat de maître d'ouvrages. à cet effet, à savoir : nacelles, Échafaudages, matériel élévateur, barques, équipements de plongée, aides visuelles, marteau, fil à plomb, Cette inspection est complétée éventuellement par le nivellement des appuis et la mesure des flèches de travées.

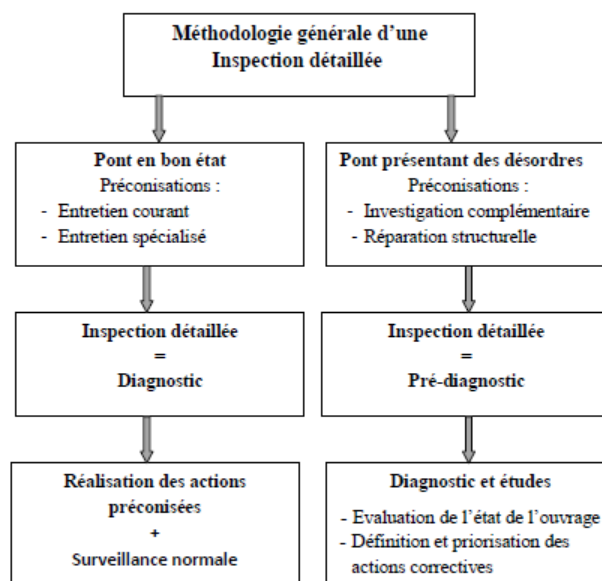


Figure II-1 : Synoptique présentant la méthode générale à suivre à l'issue d'inspection détaillée

La périodicité de ces inspections ou visites est en moyenne de cinq à dix ans, si l'ouvrage ne présente pas de dégradation. Cet intervalle est réduit à une à deux années pour le cas d'ouvrages de grande importance. Comme la précédente, l'inspection détaillée est sanctionnée par un constat dans lequel apparaîtront en détail tous les renseignements et résultats de la visite (appuyée par des prises de vues), ainsi qu'une évaluation précise de l'état de l'ouvrage. La méthodologie générale à suivre pour mener une inspection détaillée est représentée par la figure II.1.

II.4.3 Types d'inspection détaillée :

L'inspection détaillée peut défaire sur :

- **Une visite annuelle :** Pour certains ouvrages comportant des dégradations ou désordres particuliers et pour les ouvrages relativement anciens, avant de les programmer pour l'entretien ou la réparation

- **Une auscultation approfondie :** des éléments ou parties du pont, ou de tout l'ouvrage. Des investigations sont menées au moyen d'appareillages spécifiques pour apprécier la qualité et les caractéristiques des matériaux en place, le comportement de l'élément ou de la structure en service et évaluer les efforts et contraintes.

- **Une haute surveillance** [BRUHWILER 2004]: (cas de nécessité de fermeture de l'ouvrage pour réparation, suite à une défaillance mettant en risque la sécurité des usagers). Si cette fermeture entraîne des désagréments importants aux usagers et collectivités, l'ouvrage peut être mis sous haute surveillance pour surveiller tout signe de défaillance à court terme et prendre ainsi les mesures sécuritaires nécessaires immédiatement et à temps.

- **Une surveillance renforcée :** lorsque l'auscultation ne répond pas à certaines interrogations sur l'état de l'ouvrage. On fait recours dans ce cas au suivi de l'évolution de certaines dégradations par des examens fréquents et des mesures périodiques, pendant une certaine durée. Toutefois, on ne peut concevoir le remplacement de l'auscultation par la surveillance renforcée que si l'état et la sécurité de l'ouvrage le permettent pendant toute la durée du suivi.

- **Inspection détaillée particulière :** qui est effectuée en dehors du programme d'inspections périodiques (primaires et détaillées). Ce type d'action est déclenchées par le gestionnaire suite à des circonstances anormales (crues, glissement de terrain, passage de convois exceptionnels, défaillance imprévue, désordre occasionné par un choc, ...) ou bien à l'occasion de la mise en service d'un pont neuf ou après des travaux de confortement ou de réhabilitation.

Inspection des dommages : Dans le cas de l'endommagement d'un pont, une inspection des dommages est généralement appelée à évaluer la gravité des dégâts et de déterminer la nécessité de restrictions de charge ou de fermeture complète. Le niveau et le détail d'inspection dans ce cas dépend de la gravité et l'étendue des dégâts. Si les dommages significants sont trouvés, l'inspecteur peut généralement s'attendre à faire des mesures détaillées des éléments endommagés (par exemple le niveau de perte de la section). Il est évidemment souhaitable que l'inspecteur ait la capacité de faire des calculs d'ingénierie dans le domaine spécifié lié à la nécessité de restriction de charge ou de fermeture.

Inspections détaillées particulières :- Elles sont effectuées en dehors du programme d'inspections périodiques (primaires et détaillées). Elles sont déclenchées par administration :

• Suite à des circonstances anormales: Crues, glissement de terrain, passage de convois exceptionnels, défaillance imprévue, désordre occasionné par choc, séisme ...etc.

• A l'occasion de la mise en service d'un ouvrage neuf, d'un ouvrage ayant subi des travaux de confortement, ou de réhabilitation, en vue de réévaluation de la portance vis-à-vis de nouvelles réglementations.

II.4.3 Procédures d'inspection des parties des ponts

L'inspection doit porter sur l'examen des parties de l'ouvrage tel que :

a) Fondations: il y a lieu de déceler tout mouvement du sol de fondation, à travers les mouvements d'appuis (inclinaison, tassement général ou différentiel) qui peuvent être occasionnés par un glissement de terrain, la présence de cavités souterraines, variation du niveau de la nappe phréatique et les affouillements pour les appuis dans les cours d'eau.

b) Infrastructure: c'est la partie apparente des appuis du tablier. Il y a lieu de vérifier la présence et la nature des fissures, l'existence d'éclatements de béton, la corrosion des armatures, l'état des joints de maçonneries, vérifier si la maçonnerie n'est pas dérangée par la végétation et les arbustes, ...etc.

c) Appareils d'appuis : vérifier s'il n'y a pas d'écrasement d'appareil, de déformations importantes, de blocage quelconque, ...etc.

d) Superstructure:

* Tabliers en béton : vérifier le contact tablier appui, noter en particulier l'existence de fissures et leurs directions sur chaque élément porteur, relever les avaries de nature chimique, les éclats de béton et écaillages, la corrosion des armatures, les dégâts accidentels, étanchéité de la dalle, ...

* Tabliers métalliques : vérifier l'état de la protection (peinture), la présence de fissures, relever les déformations permanentes (flèches, flambements, voilements, torsion, ondulations, vérifier l'état des soudures, des assemblages, des boulons et rivets, étanchéité du tablier, ...

* Ponts suspendus : vérifier l'état des colliers, selles, sabots et culots, la rupture de fils et câbles, l'état de la protection (peinture métallique), la tension relatives des câbles... etc.

e) Joints de dilatation: il faut porter attention aux défauts suivants : desserrement des boulons, insuffisance du souffre, étanchéité du joint, ...

f) Systèmes d'évacuation des eaux: vérifier si les barbacanes et gargouilles ne sont obstruées, si les conduites et descentes d'eau sont en bon état, ...

g) Système de retenue latérale: relever les dommages occasionnés par les véhicules, l'état de la protection (peinture) des gardes corps et glissières métalliques,

II.4.4 L'auscultation du pont

II.4.4.1 Les méthodes d'auscultation du béton

a) Méthodes Électriques [ALEXANDER 2009]

Les méthodes traditionnelles pour évaluer la corrosion des armatures sont basées sur des techniques électrochimiques telles que la mesure du potentiel spontané pour détecter les zones de corrosion active et la mesure de la résistance de polarisation pour estimer la vitesse de corrosion. Récemment mise au point, une nouvelle technique non destructive de polarisation, dite méthode par impulsions galvanoplastiques, permet la réalisation rapide de mesures de vitesse de corrosion (10 à 30 secondes/mesure).

Cette méthode est basée sur l'analyse de la courbe des variations de potentiel des aciers sous l'influence d'impulsions électriques de faible intensité, émises dans le béton dans un volume déterminé.

La mesure simultanée du potentiel d'électrode, de la résistance électrique du béton et des variations de potentiel provoqué par l'injection de ces impulsions permet, par calcul, de déterminer la résistance de polarisation. Cette résistance de polarisation peut être convertie en vitesse de corrosion par une relation déduite des lois de Faraday Figure II.2.

La vitesse de corrosion, exprimée en micromètres par an, traduit la perte de section des aciers soumis à la corrosion et, par conséquent, permet d'aborder les questions de durabilité d'une structure.

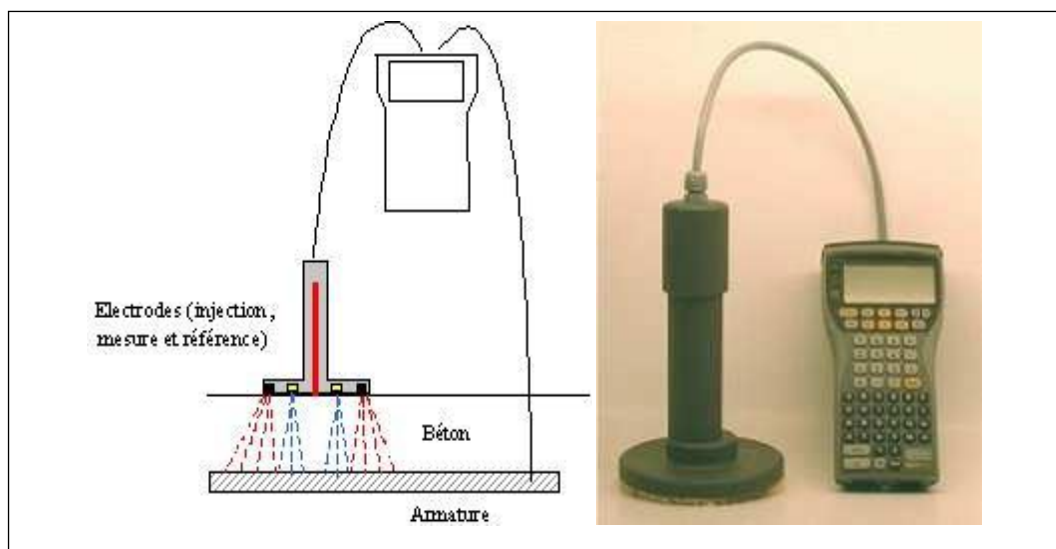


Figure II-2 : Le galvapulse de la société germann-instrument[ALEXANDER 2009]

b) Les Méthodes Optiques

Avec le développement de l'informatique et de la vidéo, ces techniques sont aujourd'hui des méthodes dont l'utilisation est de plus en plus simple, mais il ne faut pas perdre de vue la difficulté d'interprétation qui demande encore aujourd'hui une très bonne connaissance de la mesure et de la physique des phénomènes mis en jeu.

Parmi cette grande famille, nous pouvons citer trois techniques de mesure optiques :

La photogrammétrie, la projection de franges et l'interférométrie. Ces méthodes sont, de manière générale, de plus en plus courantes dans le monde industriel et notamment en génie civil.

c) Les Méthodes Radiographiques :

L'intensité d'un faisceau de rayons X ou des rayons γ subit une perte d'intensité en passant à travers un matériau. Ce phénomène est dû à l'absorption ou la diffusion des rayons X ou γ par l'objet exposé. La quantité de rayonnement perdue dépend de la qualité du rayonnement, la densité du matériau et de l'épaisseur traversée. Le faisceau de rayonnement, qui se dégage de la matière, est généralement utilisé pour exposer un film sensible aux radiations afin que les différentes intensités de rayonnement se montrent comme des densités différentes sur le film Figure II.3.

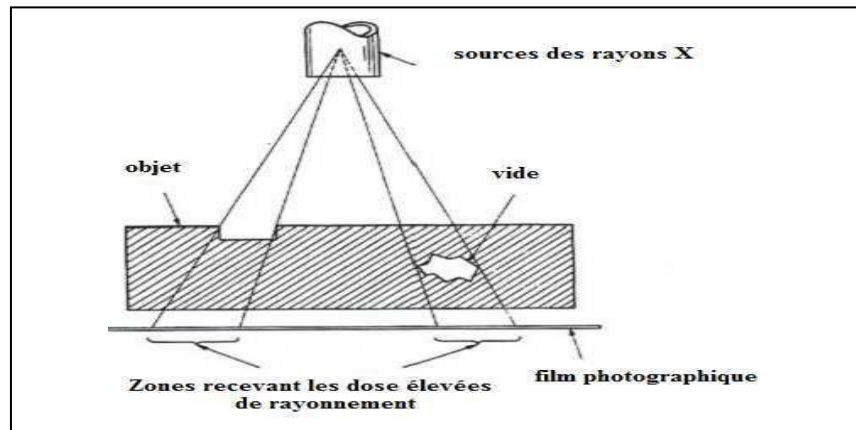


Figure II-3 : Principe de Radiographies

d) Émission acoustique :[CARMA 2006]

Une émission acoustique est causée par une déformation plastique ou par la fissuration d'un matériau. Elle crée une onde de contrainte à l'intérieur du matériau qui se propage lorsque ces ondes de contraintes sont captées par un récepteur, ce dernier répond aux mouvements de la surface du béton. Par contre, il existe des difficultés de réception des ondes de contraintes et l'évaluation d'une émission acoustique provenant du béton est très complexe. La principale difficulté d'interprétation de l'émission acoustique provient de la nature rapide et à court terme du signal. Il est donc important de se procurer l'équipement le plus sophistiqué possible, afin de tirer le maximum d'information des signaux.

II.4.5 Choix des méthodes d'essai

La Sélection détaillée des méthodes d'essai sera basé sur une connaissance des objectifs visés, couplée à une connaissance de limitations d'accès pratiquement obtenus à partir de la visite préliminaire du site ainsi que les limitations des essais. L'inspection visuelle détaillée sera généralement nécessaire pour établir l'emplacement précis de détérioration, et leurs causes probables.

Les considérations importantes dans le choix des méthodes sont les suivantes:

- a) La disponibilité et la fiabilité des étalonnages, qui peuvent être nécessaires pour relier les valeurs mesurées et les propriétés requises. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'aller de l'examen visuel vers l'écrasement des carottes pour réaliser l'étalonnage ;
- b) L'effet des dommages, ce qui porte à la fois l'aspect de surface de l'organe de test et la probabilité de dégâts structurels causée par l'effet destructif de l'essai sur les sections d'ouvrages ;
- c) Limites pratiques, les caractéristiques importantes comprennent la taille et le type d'élément à tester, son état de surface, la profondeur de la zone de test, l'emplacement de l'armature et l'accès aux points de

test. D'autres facteurs peuvent également inclure la facilité de transport d'équipement, l'effet de l'environnement sur les méthodes de test et la sécurité du personnel de test et le grand public pendant les tests.

d) La précision des résultats, ce qui influence non seulement le choix de la méthode d'essai, mais aussi le nombre de points d'essais nécessaires pour obtenir des résultats significatifs.

e) L'aspect économique, le coût d'examen, des retards doivent être soigneusement liés au coût probable d'un programme de test particulier. Le budget disponible peut également être une contrainte influençant le choix des méthodes et la richesse des essais possibles.

II.4.6 L'interprétation

L'interprétation est un processus continu à travers les étapes d'investigation qui permettra l'utilisation la plus efficace des ressources sur le site, et conduire à la maximisation de la valeur des informations obtenues.

L'importance de l'interprétation compris entre jugements qualitatifs concernant les caractéristiques observées pendant les relevés visuels, à l'analyse détaillée et l'évaluation statistique des résultats des tests numériques avec évaluation quantitative des propriétés physiques menant à la formulation des conclusions.

II.4.7 L'évaluation [PLUMIER 2006]

L'évaluation est un processus de détermination de la suffisance d'une structure ou d'un composant pour l'usage prévu par l'analyse logique des informations et de données collectées auprès des documents existants, l'inspection sur site, étude de l'état, et des essais de matériaux. Le processus d'évaluation ne peut être généralement normalisé dans une série d'étapes bien définies, car le nombre et le type de mesures varient en fonction de l'objectif spécifique de l'enquête.

a-Evaluation des matériaux :

Les résultats des inspections visuelles sur le terrain, les essais de laboratoire doivent être étudiés pour comprendre d'une façon exacte l'état des matériaux dans la structure en termes de résistance, qualité, durabilité, et l'usage prévu. Afin que les composants de la structure qui nécessitent des réparations puissent être identifiées et les éléments structurels qui nécessitent le remplacement total doivent aussi être identifiés. Dans cette étape évaluation des recommandations concernant les matériaux de réparation peuvent être fournis.

b-Evaluation structurale : [PLUMIER 2006]

En utilisant les informations obtenues de l'enquête de terrain, pour l'évaluation de dimension et de géométrie, matériel, l'évaluation de capacité de charge d'une partie ou de la structure entière doit être déterminée.

c-Evaluation de la cause :

C'est l'étape la plus difficile et la plus importante de toutes. si la cause des dommages n'est pas connue Il n'est pas possible d'évaluer l'importance des réparations à faire ni de choisir les meilleurs méthodes de réparation. Ce qui ne signifie pas que la cause spécifique doit être décelée. En fait, surtout pour le béton, il est fréquent que l'on ne puisse pas l'identifier soit parce que les données pour trouver l'origine du mal

sont insuffisantes, soit parce que plusieurs agents destructeurs agissent en même temps. On peut toutefois éliminer des possibilités jusqu'à ce qu'il n'en reste que quelques-unes et choisir alors une méthode de réparation qui améliore l'état présent et empêchera l'extension des dommages dus à tous les agents destructeurs dont on soupçonne l'action.

d-Evaluation des couts :[PLUMIER 2006]

Une évaluation des coûts devrait être réalisée pour toutes les possibilités de réparation ou réhabilitation. Le coût de réhabilitation est soumis à de nombreux facteurs, mais le coût pour certains types de réparations structurelles ou des travaux de renforcement peuvent souvent être raisonnablement estimé sur la base d'expérience antérieure. Une telle estimation peut constituer la base d'une décision initiale concernant la solution appropriée pour être sélectionnée et la faisabilité économique d'ensemble du projet.

Un plus détaillée des coûts de réhabilitation doivent être documentées, en tenant compte de la localisation du projet et la disponibilité des entreprises qualifiés Ces coûts doivent être calculés pour l'heure approximative de l'échéancier de construction réels. Il faut reconnaître que les conditions imprévues nécessitant un coût supplémentaire sont courantes dans de nombreux projets de réhabilitation et éventualités adéquate doit être fournie.

II.5 Conclusion :

L'évaluation de l'état des ouvrages aux points de vue matériaux, état structurelles et fonctionnalité ainsi que la détermination précise des causes engendrant les désordres dans les ouvrages d'art sont des opérations très compliquées puisque les désordres sont dans la plupart des cas difficiles à analyser et à évaluer car leurs origines peuvent être diverses et nous conduisent parfois à remonter jusqu'à la conception de l'ouvrage, mais ont une très grande importance, constitue la base nécessaire pour le choix d'une procédure de remédier « stratégie de réparation adéquate » .

Les divers matériaux et méthodes à assurer la réparation des ouvrages dégradés font l'objet du prochain chapitre, mais il est nécessaire que ces matériaux soient effectivement employés pour que la durabilité soit assurée.

III. CHAPITRE III : Matériaux et méthodes de réparations.

III.1 Introduction

Le projet de réparation et/ou de renforcement d'un pont, comporte une combinaison de plusieurs techniques, devant être mise en œuvre pour remédier aux désordres constatés et redonner à la structure sa performance initiale. Les techniques de réparations à utiliser sont fonction de l'importance des désordres relevés et du matériau constituant le pont (acier, béton armé, béton précontraint, maçonnerie), des couts et des délais.

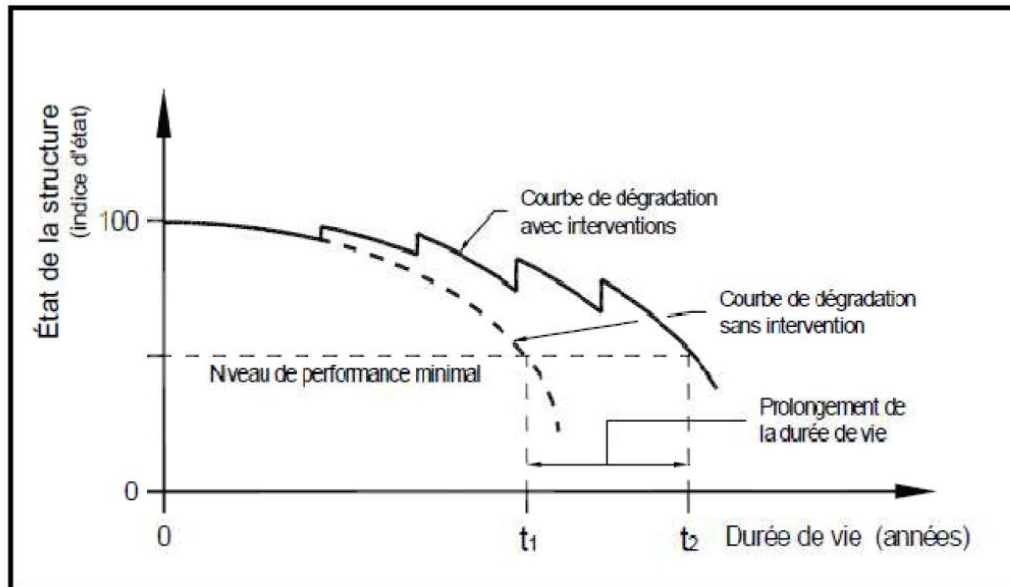


Figure III-1 : Courbes de dégradation d'une structure

Donc en générale on applique des réparations pour les raisons suivantes Figure III.1 :

1. Restaurer et augmenter la force;
2. Restaurer et augmenter la rigidité;
3. Améliorer les performances fonctionnelles;
4. Fournir l'étanchéité;
5. Améliorer l'apparence de la surface du béton;
6. Améliorer la durabilité;
7. Empêcher le développement d'un environnement corrosif à l'armature.

III.2 Différents Types D'entretien

Deux types d'entretien:

- **Entretien courant :**

Travaux ne demandant pas une qualification quelconque du personnel, ni un équipement spécifique. Il pourra être réalisé par le personnel de la subdivision au moyen de leur outillage habituel. Ces travaux consistent habituellement en des opérations de :

- Nettoyage des sommiers d'appuis, nettoyage des appareils d'appuis (lubrification aussi des appareils d'appuis métalliques) de chaussée, des joints de chaussée, avaloirs, gargouilles, déboisement et enlèvement de végétation, ...etc.

- Protection des remblais contre l'érosion (gabionnage, pierre), protection des fondations contre l'affouillement par gabionnage, peinture localisée sur éléments de tablier métallique, ...etc.

-Remplacement d'éléments détériorées des couvertures de trottoirs, platelage métallique de passerelle, de glissières de sécurité, lampadaires, ...etc.

- Réparation de désordres superficiels, d'origine non structurelle tel que rejointoiement, éclats de béton, réparation localisée de système d'évacuation d'eau, ...etc.

• **Entretien spécialisé :**

C'est l'ensemble des opérations d'entretien nécessitant :

- Des moyens d'accès particuliers : échafaudages, nacelles, des engins et moyens de levage : pelles, vérins hydrauliques, l'emploi d'une main d'œuvre spécialisée.

-L'emploi de produits de réparation spécifiques : mortiers préparés, résines, produits divers de réparation, peinture de protection, ...etc.

- L'emploi de moyens de mise en œuvre appropriés : machine pour injection de coulis et mortiers, machine pour béton projeté, compacteurs, ...etc.

III.3 Choix des méthodes et matériaux de réparations :

C'est l'étape la plus difficile et qui exige une connaissance approfondie ainsi un très bon jugement de l'ingénieur entre les variétés de méthodes d'intervention.

III.3.1 Critères de choix des méthodes de réparation

Ce sont l'ensemble des facteurs influant notre choix et favorisant une méthode et un matériau par rapport à les autres, on peut distinguer :

a) Le cout de réparations ainsi tous les frais complémentaires d'entretien de réparations ;

b) Type des dégradations : si les dégâts sont relativement peu nombreux et isolés, des réparations partielles sont à préconiser. Si les dégâts sont étendus, il faut envisager de reprendre l'ouvrage dans son ensemble ;

c) La sécurité structurale, avant, pendant et après la réparation ;

d) La disponibilité des matériaux de réparation et les capacités des entrepreneurs dans l'utilisation des matériaux spéciale ou les procédures exceptionnelles avec succès ;

e) Les conditions d'exploitation de l'ouvrage donc il faut s'assurer que les réparations, pendant leur exécution ne gêneront pas sérieusement l'utilisation de l'ouvrage ;

f) L'importance de l'ouvrage, duré de vie souhaitée pour les réparations, les conditions d'exploitation de l'ouvrage ;

-
- g) Les contraintes de chantier tell que les difficultés d'accès, l'absence des surfaces nécessaires pour l'application des méthodes de réparation, les conditions climatiques défavorable ;
- h) Les changements apportés par les réparations sur l'aspect esthétique, ou sur le comportement des éléments (l'accroissement de section d'un élément ce qui implique une augmentation de la rigidité, modifie la distribution des efforts et des moments...)
- i) La combinaison la plus économique des méthodes et des matériaux jugés techniquement faisable.

III.3.2 Les matériaux de réparation

III.3.2.1 Bétons Conventionnels [HOUARA 2003]

Les réparations profondes en béton conventionnel sont généralement utilisées lorsque la surface à réparer est plus grande que 1000 cm² et 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);

Un bon mûrissement est essentiel pour assurer une bonne durabilité et pour minimiser la fissuration due au retrait de séchage.

Le périmètre de la zone à réparer doit être scié sur une profondeur d'au moins 25 mm

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, et pompage.

Il est important d'utiliser un béton de réparation durable dont les propriétés physicochimiques (module élastique, coefficient de dilatation thermique) sont similaires à celles du béton existant.

III.3.2.2 Les latex :

Le terme latex, qui désignait à l'origine le liquide sécrété par certains végétaux, se rapporte maintenant à une vaste famille d'émulsions de polymères synthétiques mise en solution dans l'eau. Les latex (composés de monomères et non de polymères) se distinguent en cela des autres résines, que l'on incorpore au béton à l'état frais et dont on provoque la polymérisation à l'intérieur de la matrice. Cette différence fondamentale explique la grande simplicité de mise en œuvre du mortier ou du béton de latex : il suffit d'ajouter le latex au mélange frais.

a) Les mortiers latex

Les mortiers de latex contiennent généralement entre 10 et 20% de latex par rapport à la masse de ciment. Les latex confèrent au mortier une adhérence importante sur des supports même lisses, une amélioration de la plasticité permettant une réduction de la quantité d'eau de gâchage, une amélioration de l'imperméabilité, une diminution du module d'élasticité et une augmentation de la résistance à la traction. Les mortiers au latex se révèlent donc d'excellents matériaux pour réparer les structures.

b) Résine époxy

Ce sont des composés organiques qui à l'aide de durcissements appropriés, constituent des produits mécaniquement et chimiquement résistants, et dotés d'excellentes propriétés d'adhérence. On peut les utiliser pour faire adhérer du béton à des surfaces, ou pour ressouder des portions d'une section de béton en service fissurées ou détachées. Une fois durci, le composé ne se ramollit pas, ne coule pas et ne suinte pas – du moins dans les conditions d'emploi ordinaires

III.3.2.3 Les Matériaux Composites

III.3.2.3.1 Définition:[CARMA 2006]

Un matériau composite peut être défini d'une manière générale comme l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux, l'assemblage final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. On appelle maintenant de façon courante "matériaux composites" des arrangements de fibres, les renforts qui sont noyés dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus faible, assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces.

D'une manière générale un matériau composite se constitués par :

III.3.2.3.2 Les Charges :[CARMA 2006]

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé.

D'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- Compatibilité avec la résine de base ;
- Mouillabilité ;
- Uniformité de qualité et de granulométrie ; - Faible action abrasive ; - Bas prix de revient.

III.3.2.3.3 Les Matériaux De Renfort :

C'est le renfort qui constitue l'armature ou le squelette et qui assure la tenue mécanique (résistance à la traction et rigidité). Il est par définition, de nature filamentaire (fibre minérale ou organique) allant de la particule allongée à la fibre continue, La fibre de renfort apporte donc toujours la tenue mécanique de la structure composite (tandis que la matrice apporte la forme et la tenue chimique) et peut représenter un taux massique de 20 à 80%.

III.3.2.3.4 La Matrice : [CARMA 2006]

La matrice a pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes subies, On utilise actuellement surtout des résines thermodurcissables (TD) que l'on associe à des fibres longues, mais l'emploi de polymères thermoplastiques (TP) renforcés de fibres courtes se développe fortement.

III.3.3 Les Méthodes de Réparation :

III.3.3.1 Remplacement Du Béton Altéré :

Lorsque la détérioration du béton est importante, le remplacement du béton altéré par du nouveau béton est nécessaire. Lors de l'enlèvement des matériaux détériorés, il faut s'assurer de ne rien laisser qui pourrait empêcher l'accrochage du nouveau matériau à l'ancien. Afin de délimiter les zones à enlever, on pratique des traits de scie de 25 à 50 mm de profondeur tout autour de celle-ci et on procède ensuite à sa démolition. Parmi les nombreuses techniques d'enlèvement des matériaux, on retrouve : le broissage, le repiquage, le sablage, l'hydro démolitions le décapage et le lavage.

Après l'enlèvement des matériaux, il faut nettoyer soigneusement le substrat. Le nettoyage se fait à l'aide d'un jet de sable suivi d'un jet à l'eau et à l'air propulsé. Pour finir, le surplus d'eau restant à la surface du béton est éliminé en utilisant un jet à l'air.

Les armatures qui se retrouvent à découvert sont inspectées, nettoyées et remplacées si nécessaire. Le nettoyage des armatures consiste à enlever la rouille et à les recouvrir de couches de peinture époxydique pour les protéger.

Afin d'assurer une bonne adhérence avec le nouveau et l'ancien matériau, un agent de collage doit être appliqué après avoir complété la préparation et le nettoyage de la surface à réparer et juste avant la mise en place du nouveau matériau. Les mortiers à base de ciment portland et les coulis sont souvent utilisés. Les produits à base de latex ou des résines époxydes sont utilisés lorsque la situation demande un temps de cure rapide.

III.3.3.2. Adjonction d'armatures complémentaires :

Des armatures complémentaires sont à prévoir lorsqu'il s'agit de remplacer des aciers corrodés ou coupés accidentellement. Cette solution peut également être envisagée lorsqu'il s'agit de renforcer une structure. Dans tous les cas, les armatures existantes conservées doivent faire l'objet de soins de manière à éviter la poursuite de leur dégradation. Un étaielement et un déchargement de l'ouvrage à réparer peuvent éventuellement être nécessaires. Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration, et participer à la résistance des sections renforcées. Il faut donc porter une attention particulière à la disposition et à l'ancrage de ces armatures.

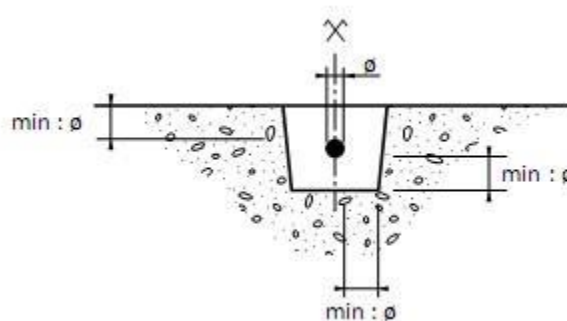


Figure III-2 : Armatures supplémentaires en engravure

- Les armatures complémentaires peuvent s'inscrire dans la géométrie de l'élément (par exemple, en les disposant dans des engravures dimensionnées en fonction du diamètre de l'acier et des caractéristiques du

produit d'enrobage ; Figure III.2) ou en surépaisseur (le treillis soudé constitue alors souvent une bonne solution Figure III.3).

La protection des armatures en surépaisseur est assurée par un béton coulé, ou projeté. Dans tous les cas, un enrobage minimal égal au diamètre des barres est nécessaire.

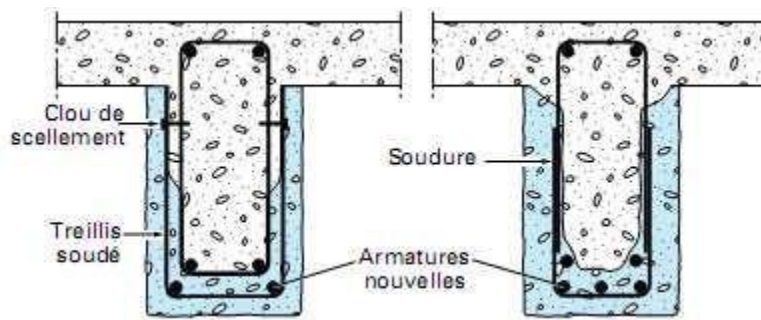


Figure III-3 : Armatures supplémentaires en surépaisseur de poutre

III.3.3.3 Renforcements et réparation par Matériaux de composite :

Toute mise en œuvre de matériaux composites sur une structure endommagée nécessite d'abord un ragréage de la surface à réparer. Celle-ci doit être plane et propre. Dans la plupart des cas, une injection de fissure et un traitement de surface par sablage sont réalisés.

III.3.3.3.1 Mise en œuvre par enroulement filamentaire :

La fibre est produite sous forme de fibres continues de très grande longueur. Elle est déposée et enroulée régulièrement autour d'un mandrin. La longueur de fibres continues peut varier de 600 m à 5 km (soit 0,8 g au mètre linéaire). Pour renforcer directement une structure à partir d'une bobine de fibre de carbone, il est nécessaire de pouvoir tourner autour. Ce procédé de renforcement est donc naturellement limité aux colonnes ou aux pylônes. Le principal avantage de ce procédé est l'automatisation complète du système de pose. Son principal inconvénient est le fait qu'une pose manuelle est nécessaire pour renforcer les extrémités des piles et des colonnes et que cette méthode demande en outre du temps et des manipulations importantes pour installer le matériel. Cette méthode a surtout été développée au Japon, et elle est aujourd'hui utilisée à travers le monde.



Figure III-4 : Les principes de l'enroulement [ROCHDI 2004]

III.3.3.2 Mise en œuvre par stratification directe de tissus sec :

Le renforcement de structures à partir d'un tissu sec se fait directement par la pose de ce dernier sur une couche de résine qui recouvre l'élément à renforcer et qui sert de liant. Après reprofilages, une couche de résine de fermeture permet de parfaire l'imprégnation. Les pressions nécessaires appliquées pour cette méthode de renforcement sont faibles par rapport à d'autres méthodes de renforcement. Le principal avantage du renforcement par tissus secs est la manipulation très facile sur chantier avec une absence totale de matériel lourd à déplacer. Cette technique permet notamment un suivi parfait de la forme du support ainsi que la maîtrise de l'épaisseur du film de résine, en utilisant des polymères qui polymérisent à température ambiante, il est possible de réaliser une stratification directe Figure III.5, en respectant les étapes suivantes :

- préparation de la surface, application de la couche primaire,
- application d'une première couche de polymère époxyde,
- application d'une première couche de tissus secs,
- application d'une seconde couche de polymère époxyde, protection, finition.



Figure III-5 : Mise En Œuvre Par Stratification Directe

Ce procédé présente l'avantage d'une mise en œuvre simplifiée, mais le renforcement acquiert toute sa résistance au bout d'une semaine et le contrôle de la qualité de l'application doit être soigné suivant les conditions de mise en œuvre. Ce procédé a trouvé de nombreuses applications en Europe, au Japon et aux Etats-Unis. Les principaux paramètres qui doivent être suivis sont les températures et l'humidité du support. L'ensemble de ces paramètres contribue à la modification des propriétés mécaniques du composite en place.

III.3.3.3 Le collage de plaques composites :

Les plaques composites sont des produits finis présentés sous forme de bandes ou de joncs, plus ou moins rigides suivant les épaisseurs et les diamètres. La section des bandes les plus courantes est 100 x 1 mm, leur longueur, suivant la demande, varie de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres.

Cette technique, comme celle du plat collé métallique, permet difficilement de maîtriser les épaisseurs de colle, en raison de la rigidité des aciers et des composites. L'application de ces renforcements sur des surfaces ayant des défauts de planéité ou sur des surfaces courbes ou non développables reste très limitée. Le procédé de collage est le suivant : nettoyage à l'acétone de la face de collage de la plaque, traitement de surface à réparer par sablage, traitement par eau sous pression et meulage, nettoyage de la surface par un dépoussiérage, le polymère époxy est appliqué sur la plaque de composite, la plaque est ensuite pressée sur la surface, l'excédent de colle est enlevé, une pression à l'aide d'un sac à vide est appliquée jusqu'à complète polymérisation du polymère Figure III.6.



Figure III-6 : Procède Par Collage De Plaques (SIKA, 1996)

III.3.3.4 Le Renforcement Au Moyen Des Profiles Métalliques

L'association des profilés métalliques aux structures en béton armé permet d'augmenter la capacité portante de la structure. La réalisation ainsi d'une structure mixte acier-béton dont il faut assurer la compatibilité entre ces deux matériaux est indispensable et nécessaire Figure III.7.

Cette compatibilité entre les deux matériaux est liée directement à la qualité de l'interface (acier-béton) pour bien transmettre les efforts internes. L'intérêt de cette méthode est la rapidité de réalisation in-situ, les pièces métalliques sont préfabriquées en atelier, et leur montage s'effectue à l'aide de cheville ou tiges ancrées. L'assemblage sur site des éléments décomposés en tronçons facilite ainsi leur transport et mise en place.



Figure III-7 : Renforcement De Poteaux Au Moyen De Profiles Métallique

III.3.3.5 Béton Projeté :

Il existe deux techniques principales de projection du béton, dont la différence principale réside dans la chronologie des opérations élémentaires Figure III.8.

➤ Procédé par voie humide

Le procédé par voie humide implique qu'un béton ou un mortier soit pompé de façon conventionnelle dans un boyau et projeté à haute vitesse contre une surface réceptrice en utilisant de l'air comprimé ajouté à la lance.

Le procédé par voie humide est surtout utilisé lorsque les volumes à produire sont importants. Le contrôle de la qualité est plus simple avec ce procédé, puisqu'en utilisant un béton conventionnel, le dosage des constituants du mélange est connu.

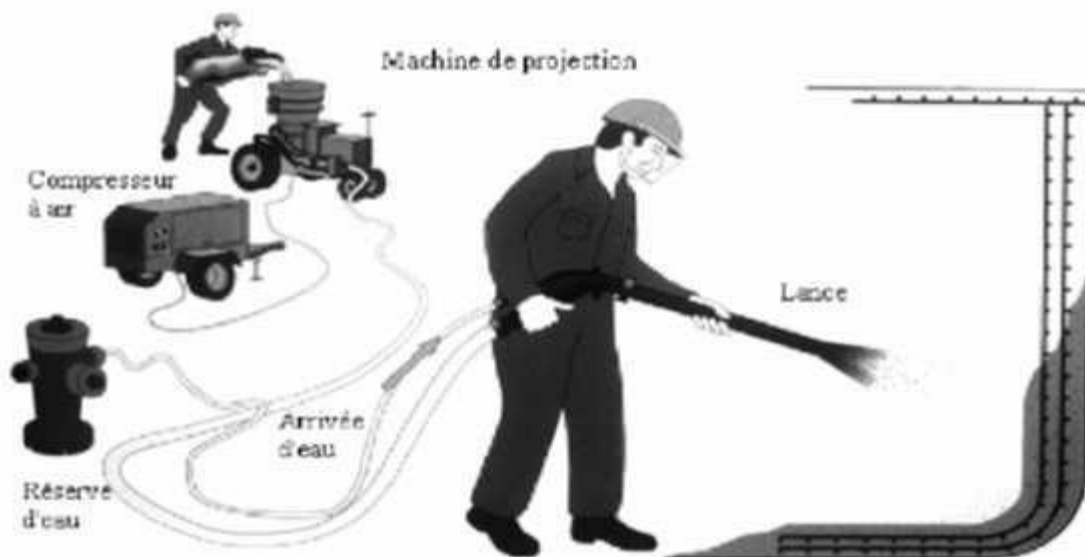


Figure III-8 : Projection Par Voie Humide

➤ Procédé par voie sèche :

Le procédé par voie sèche est le plus utilisé pour les réparations. Les matériaux secs, c'est-à-dire le ciment et les granulats, sont incorporés directement dans une canalisation, où ils sont transportés par l'air comprimé jusqu'à la lance. L'eau sous pression est introduite dans le mélange à la lance par l'entremise d'une bague perforée, cette bague permet le mélange de l'eau avec les matériaux Figure III.9.

Le malaxage de l'eau et des matériaux secs se produit dans la lance et au contact de la surface. La présente figure l'appareillage nécessaire à l'application de béton projeté par voie sèche. Le procédé par voie sèche a l'avantage de pouvoir être arrêté et reparti à tout moment durant les travaux. Le désavantage du procédé sec est que le dosage de l'eau dans le mélange se fait directement à la lance, par le lancier, ce qui complique le contrôle de la qualité.

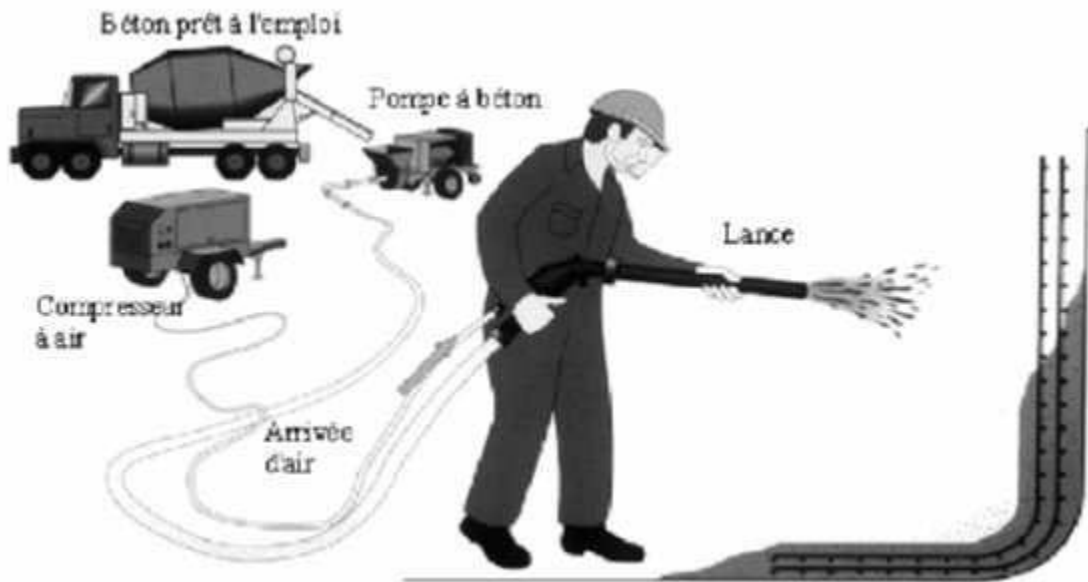


Figure III-9 : Projection Par Voie sèche

III.3.3.6 La Précontrainte Additionnelle :

La précontrainte additionnelle est souvent la solution souhaitable quand une partie importante d'un membre doit être renforcé ou lorsque les fissures qui se sont formés doivent être fermées. Cette technique utilise des torons de précontrainte ou des barres utilisées pour l'application des contraintes de compression, l'ancrage adéquat fournis par des éléments mis à l'extérieur dès l'élément. Cette procédure se diffère suivant Le tracé de précontrainte utiliser qui peut être rectiligne ou polygonal.

- Tracé rectiligne [HAMLAOUI 2012]

Un câblage rectiligne est plus pratiques et aussi facile à le mettre en œuvre et les pertes d'effort par effet de frottement sont localisées au voisinage des zones d'ancrages, et sont de faibles estimations Figure III.10.

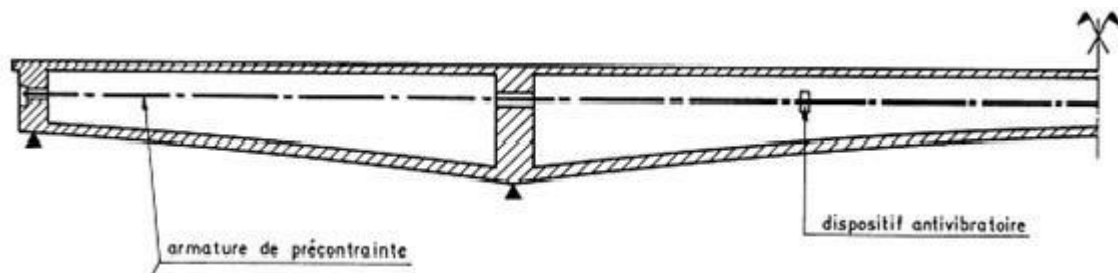


Figure III-10 : Tracés rectiligne

- Tracé polygonal[CALGARO 1995]

Par contre le tracé polygonal qui consiste à dévier les câbles, de façon à optimiser l'effet du précontraint tant sur le plan de la résistance en flexion que sur celui de la résistance à l'effort tranchant. Les pertes par frottement sont un peu plus fortes que dans le cas d'un tracé rectiligne, tout en restant modérées, et la mise en œuvre est plus compliquée, à cause de la confection des déviateurs, mais c'est la conception la plus courante car la plus efficace Figure III.11.

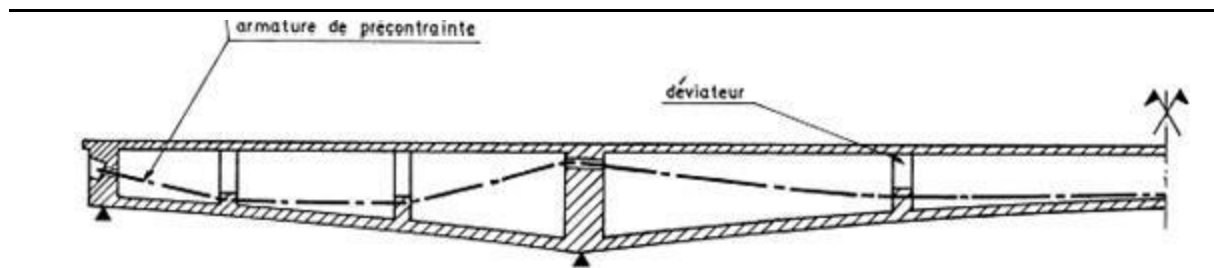


Figure III-11 : Traces Polygonal

III.4 LES TRAITEMENTS DES OUVRAGES

III.4.1. Ré-alkalinisation Du Béton Carbonate

Le principe de protection électrochimique de réalcalinisations est montré dans la Figure III.12. La technique de réaction est basée sur le même principe que la technique d'extraction des ions chlore : elle consiste aussi à appliquer un courant électrique continu entre une anode temporaire placée sur la surface du béton et l'acier. La méthode de ré-alkalinisation est appliquée lorsque le problème de corrosion est provoqué par la carbonatation du béton d'enrobage. L'objectif de cette technique est de redonner au béton carbonaté la valeur de pH qui permet la repassivation des aciers.

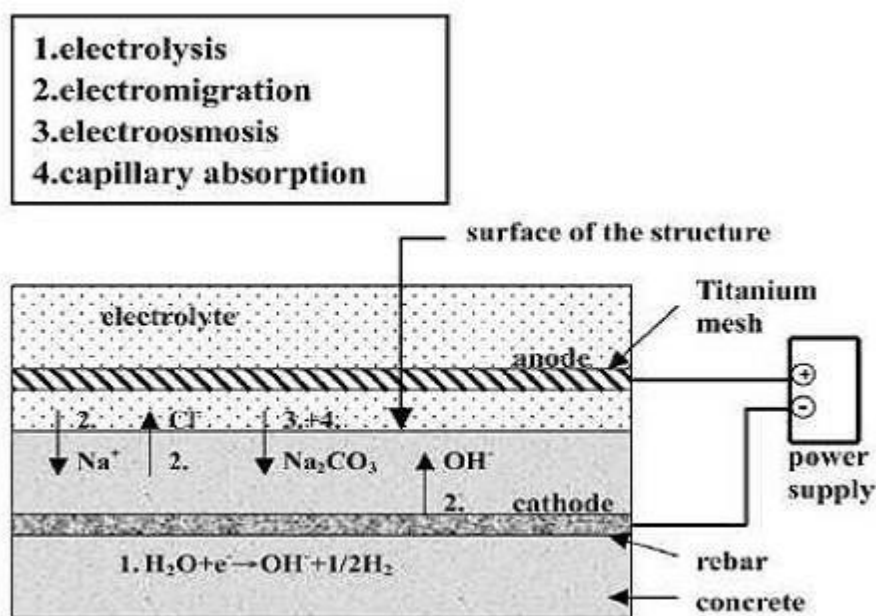


Figure III-12 : Illustration Du Processus Electrochimique De Relatinisation

III.4.2 Extraction Electrochimique Des Ions Chlores :

La première application d'extraction électrochimique des ions chlore a eu lieu en 1973.

Le « Kansas Département Of Transportation (KDOT) » a extrait les ions chlore en utilisant une anode de cuivre. Ensuite cette technique a été appliquée pour traiter un pont contaminé par les chlorures en utilisant une densité du courant très élevée de 23 à 28 A/m² pendant 24 heures.

- Principe de méthode

La technique d'extraction électrochimique des ions chlore, ou déchloration, consiste à faire passer un courant électrique continu entre une anode placée sur la surface du béton et l'acier (Cathode). Ce courant provoque le déplacement des ions chlore chargés négativement vers l'anode extérieure. Lorsque les ions chlore arrivent à la surface du béton, ils passent dans l'électrolyte et peuvent donc être enlevées définitivement du béton. Le niveau actuel de courant appliqué lors d'un traitement d'extraction est de 1 à 5 A/m². Cette technique, contrairement à la protection cathodique, est temporaire avec une période d'application de 4 à 5 semaines Figure III.13.

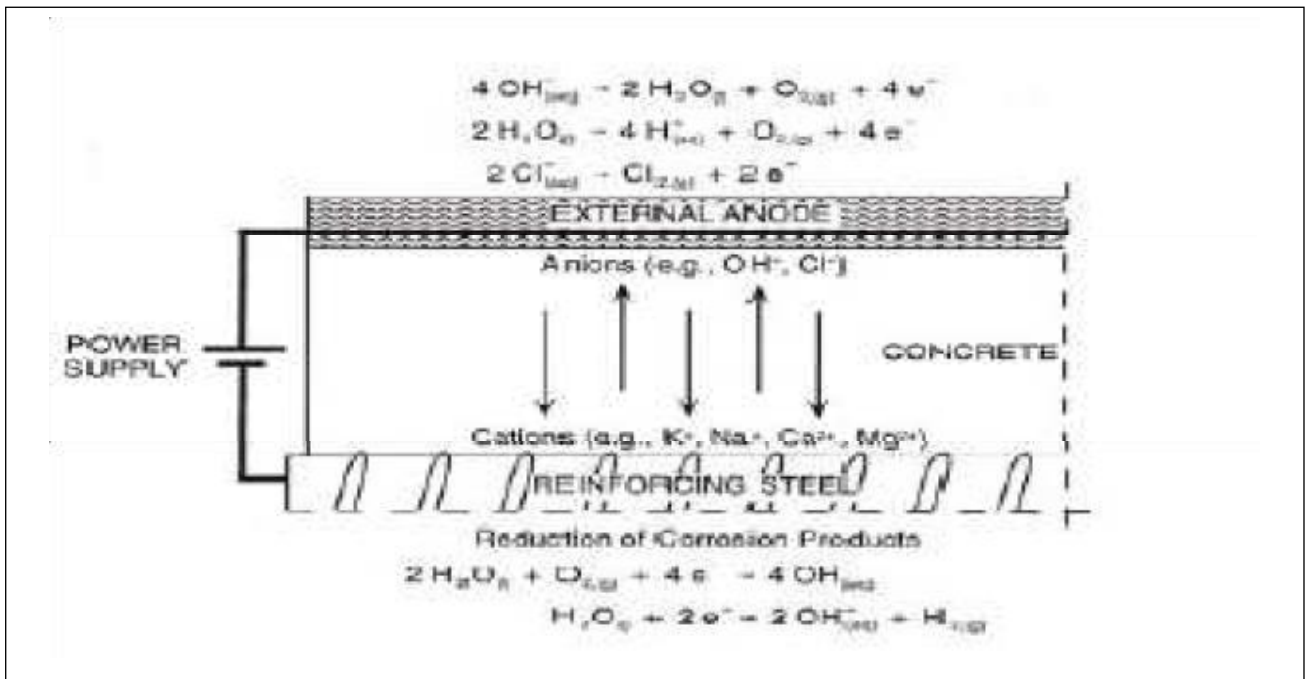


Figure III-13 : Schéma D'application D'un Traitement d'EC

Les points positifs de l'application de cette technique sont :

- Abaissement de potentielle thermodynamique de l'acier

- Augmentation de la teneur en ions hydroxyle et en conséquence augmentation Du pH autour de l'armature ;

- Diminution de la teneur en ions chlore près de l'acier.

III.4.3 La Protection Cathodique:

- Principe

Cette méthode de protection consiste à abaisser en tout point de l'armature, le potentiel (potentiel de structure) de ce métal jusqu'à une valeur dite potentiel de protection, qui est telle que la vitesse de corrosion de l'acier devient négligeable. L'abaissement de potentiel est obtenu en imposant le passage d'un courant électrique qui va de l'enrobage vers l'armature. Ce potentiel ne doit pas être trop négatif, sinon l'eau interstitielle du béton pourrait se décomposer par électrolyse. De l'hydrogène pourrait alors se former et fragilise les aciers à haut résistance, tels que les armatures de précontrainte.

- Procédés de protection cathodique :

Divers procédés sont utilisés pour appliquer une protection cathodique des aciers dans les bétons aériens. Seuls les deux types les plus courants sont cités ici.

Le premier type de procédé utilise comme anodes des revêtements conducteurs (peinture conductrice, métallisation du béton à l'aide de zinc) mis sur le parement de béton.

Le second type concerne des anodes qui sont placées à la surface du béton puis enrobées de béton souvent projeté il s'agit le plus souvent de treillis de titan traité (dit "activé"), qui est maintenu sur le béton par des fixations isolantes, espacées de 0.60m environ.

III.5. Conclusion :

La réparation des ouvrages est devenue aujourd'hui une nécessité économique et un impératif technique dans la gestion des patrimoines. Elle implique des entreprises spécialisées qui cumulent une grande expérience, une maîtrise des moyens matériels et jouissants de compétences humaines de qualité.

Elle permet à moindre cout de réhabiliter des ouvrages et assurer ainsi leur état de service initial ce qui nous permet de nous économiser par ne pas recourir à la construction nouvelle.

IV. CHAPITRE IV: Maintenance et réparation des ouvrages d' art

IV.1 Introduction :

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est estimée à 108 302 km de routes et plus de 5.000 ouvrages d'art. Certains ouvrages demeurent en excellent état après plus d'un siècle d'exploitation et d'exposition à des conditions climatiques particulièrement rigoureuses, alors que d'autres ouvrages récents présentent une détérioration importante.

La plupart de ces ouvrages d'art sont réalisés en béton armé, ils subissent, au cours de leurs vie de service, des modifications structurelles, fonctionnelles ou esthétiques en fonction de leur importance, leur exploitation et leur position environnementale. Ces causes sont dues soit à l'accroissement des charges qui sollicitent la structure soit aux défauts dans le calcul ou dans l'exécution de l'ouvrage.

Afin d'augmenter la durée de vie d'un ouvrage d'art, il y a lieu de prévoir une consolidation ou réparation adéquate. Mais il est important, pour que la réparation soit de qualité, de savoir toutes les causes et les types de pathologies apparentes ou cachées affectant cet ouvrage. Pour connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, il est très essentiel d'établir le diagnostic nécessaire pour la prise de décision relative aux actions d'entretien, de maintenance ou de réhabilitation de l'ouvrage concerné.

Dans ce chapitre on a pris quatre types différents du pont pour expertiser.

IV.2 Ouvrage d'art sur RN 44 AU PK 83+410 - franchissement voie ferrée/RN44



Figure IV-1 : Vue en élévation de l'ouvrage, Côté « Annaba »



Figure IV-2 : Vue au-dessus de l'ouvrage

Table IV-1 : Description de l'ouvrage Pont RailRN 44 AU PK 83+410

Ouvrage d'art sur RN 44 AU PK 83+410 - Franchissement voie ferrée/RN44	
Données administratives	Subdivision : BERRAHAL
	Localisation : OUED LENEH
	Coordonnées GPS : 36°49'35.01N - 7°36'27.82"E
	Voie portée : CW 108
	Voie franchie : RN 44
	Type d'ouvrage : Pont à poutres multiples en béton précontraint sous dalle en béton armé
Données d'archive : Néant	
Données géométriques	Tracé :Biais
	Biais :75,50°
	Nombre de travées :03 Travées Isostatique
	Portée(s) [sens biais]:3 x 25,00 m
	Ouverture(s) [sens droit] :3 x 24,00 m
	Longueur de l'ouvrage :77,70 m
	Largeur de chaussée roulable :10,65m Droite / 11,00m biaise
	Largeur des trottoirs :1,65 m
	Largeur de l'ouvrage :14,00 m Droite
	Surface de tablier :828 m2
Superstructure	Gabarit :- 4,90m travée sens vers Skikda -5,25m travée sens vers Annaba -5,60m Travée sur voie ferré
	Matériau : Poutres en béton précontraint / hourdis en béton armé
	Tablier : 08 poutres en béton précontraint sous dalle en béton armé
Infrastructure	Structure : Poutres indépendantes, section en T. Isostatique
	Matériau : Béton armé
	Piles : 02 Piles portiques (Chevêtre sur 4 fûts circulaires)
	Culée(s) : - Culée travée sens vers Skikda : Pile culée (chevêtre sur 4 pieux) avec 2 murs en retour.

	- Culée travée sur voie ferrée : Mur de front avec 2 murs en ailes
	Fondations : /
Equipements	Appareils d'appui : Néoprène frété (dissimulés derrière les murs de protection en parpaing qui ferment les sommiers d'appui)
	Joints de chaussée : Néoprène frété (dissimulés derrière les murs de protection en parpaing qui ferment les sommiers d'appui)
	Garde-corps : Garde de corps métalliques
	Avaloirs : 4 (travée sur voie ferrée)

Table IV-2 : Pont Rail RN 44 AU PK 83+410

Pont Rail RN 44 AU PK 83+410									
		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
Types d'élément				1	2	E2	3	3U	
Structure	Poutre 1	03 impacts de choc au tiers (1/3) de la portée, Côté pile. Arrachement de béton sur environ 5ml, dénudement des aciers avec plastification ou rupture d'au moins de 04 cadres au niveau du talon inférieur de la poutre, Au niveau de la zone d'about Côté pile : altération du béton, désenrobage, coulures noirâtres au-dessus de la joue extérieure de la poutre et dénudement des aciers passifs, principalement des cadres transversaux, en état de corrosion. Les coulures noirâtres jaillissent sous la corniche. Figure A.3/ Figure A.5	Choc de véhicules en sur gabarit, Défauts d'assainissement ; stagnation d'eau au-dessus de la chaussée (point bas) et défaut de pose des éléments de corniche qui présentent des vides importants en eux.					X	
	Poutre 2	Impact de choc de véhicule sur le talon de la poutre ; étendue : environ 40cm, Fissure oblique avec arrachement de béton, liée à l'impact, Dénudement des aciers passifs avec plastification d'au moins un cadre et une barre longitudinale, Trace d'écoulement sur la face extérieure de la poutre « Côté Est ». Figure A.3/ Figure A.6	Choc de véhicule en sur gabarit, Infiltration d'eau sous le trottoir (point bas au-dessus de l'ouvrage).					X	
	Poutre 3	Impact de choc de véhicule sur le talon de la poutre ; arrachement de béton sur environ 40cm, apparition des aciers passifs ; au moins deux cadres transversaux et une barre longitudinale se sont plastifiés. Figure A.3/ Figure A.7	Écoulement en pied de talus, parallèle à l'ouvrage (eau d'assainissement de la route).					X	
	Poutre 4	RAS .FigureA.3	Poutre en bon état.	X					
	Poutre 5	Impact de choc de véhicule sur le talon de la poutre ; arrachement de béton sur environ 30cm, avec plastification de 3 cadres et de deux barres longitudinales Figure A.4	Choc de véhicule					X	
	Poutre 6	02 impacts de choc avec arrachement de béton au niveau du talon. Dénudement d'aciers passifs. Figure A.4/ Figure A.8	Choc de véhicule					X	

	Poutre 7	03 impacts localisés dont un est plus importants que les deux autres. Il est situé à mi- travée ; au moins 5 cadres d'effort tranchant sont sectionnés et autant de barres longitudinales déformées. Figure A.9	Choc de véhicule					X	
	Poutre 8	La poutre a subi deux impacts majeurs dus aux chocs de véhicule en surgabarit. Le premier impact : situé à environ 9 m de pile1 ; le talons de la poutre est totalement démolit sur une étendue de 1.80ml, une gaine de la précontrainte est coupée avec dénudement des torons et une autre gaine est déchaussée. Une quinzaine de cadres et environ 4 barres longitudinale ont été sectionnées, Le deuxième impact : situé à 3 m de la pile1. Etendue : 1.20 m. arrachement de béton et apparition des aciers passifs, au moins 5 cadres. Figure A.10	Défaut d'assainissement ; présence de points bas sur la chaussée de l'ouvrage, Défaut de pose de la corniche ; vides entre éléments trop important.					X	
Eléments de protection	Travée 2, entre la pile 1 et la pile 2 :	Poutres de rive (Poutre1 et Poutre8) : coulures noirâtres sur les poutres notamment à proximité de la pile1, écoulements en provenance des joints entre éléments de corniche. Dénudement des cadres transversaux sous le talon de la poutre1. Figure A.11	Défaut d'assainissement ; présence de points bas sur la chaussée de l'ouvrage, Défaut de pose de la corniche ; vides entre éléments trop important.					X	
	Pile 1 :	Coulures noirâtres sur le chevêtre et le fût d'extrémité « Côté Annaba » Désenrobage de quelques barres d'aciers verticales du Côté du TPC et sous le chevêtre Figure A.18	Défaut d'assainissement ; présence de points bas sur la chaussée de l'ouvrage.	X					
	Pile 2 :	Dégradation de béton par délaminage sous le chevêtre. Dégradation localisée au niveau de l'extrémité « Côté Skikda » Chevêtre désaxé par rapport aux fûts. Figure A.20	Infiltration d'eau et corrosion des aciers provoquant le gonflement puis l'arrachement du béton d'enrobage, Défaut d'implantation lors de la réalisation.		X				X

Structure	Travée 3, entre la pile 2 et la culée 2 :	Même constat que la travée 2 : Poutres de rive (Poutre1 et Poutre8) : coulures noirâtres sur les poutres en provenance des joints entre éléments de corniche. Dénudement des cadres transversaux sous le talon de deux poutres.	Défaut de pose de la corniche ; vides entre éléments trop important.		X				X
	Poutre7 :	Traces rougeâtres sous le talon, signe de la corrosion des cadres inférieurs. Figure A.9	Infiltrations d'eau à travers les corniches.		X				
	Avaloirs :	Désagrégation de béton avec corrosion des aciers au droit des avaloirs. Figure A.13	Défaut de raccordement de l'étanchéité générale au droit des avaloirs. Les eaux s'infiltrent derrière les avaloirs.			X			
	Culée1, Côté « Nord » :	Chevêtre sur pieux avec deux petits murs en retour. Importantes coulures d'eau (noirâtre) sur le chevêtre avec développement de lichens sur les parements du béton, Altération du béton et apparition des aciers passifs sur le côté « Skikda » au niveau du mur en retour, Murets de retenue du remblai d'accès entre les pieux déstabilisés avec départ de matériaux. Figure A.13	Défaut d'étanchéité du joint de chaussée et absence de joints de trottoirs, Remblai d'accès mal compacté.			X			
	Culée2, Côté « sud » :	Culée sur mur de front et murs en ailes. Coulures noirâtres en provenance du sommier d'appui, Quelques éclatements de béton avec dénudement d'acier de béton armé, notamment sur le mur en aile « côté Annaba ». Figure A.15	Défaut d'étanchéité du joint de chaussée et absence de joints de trottoirs,				X		

IV.2.3 Avis sur l'état apparent de l'ouvrage

Au terme de cette première mission et d'une manière générale, nous pouvons dire que l'ouvrage est en bon état et à ce titre aucune mesure d'urgence n'est à prendre en attendant les conclusions de la présente étude d'expertise.

L'ensemble des dégradations relevées sur l'ouvrage et répertoriées dans ce rapport peuvent être classées, suivant leurs origines, en deux catégories qui sont successivement :

1/ Dégradations dues aux chocs de véhicules en sur gabarit :

Il s'agit des désordres qui ont affecté les poutres de la travée 1 (travée de rive franchissement de la voie de circulation qui mène vers Skikda), dont le plus graves est celui subit par la poutre 8 (poutre d'extrémité « Ouest »), où l'on a constaté la démolition quasi-totale du talon de la poutre sur environ 1.80 m et la rupture d'une gaine de précontrainte du câble inférieur, ainsi que le dénudement des torons et la rupture de plusieurs armatures passives. Il serait très difficile d'envisager la réparation de cette poutre du fait de la gravité de l'impact subit et surtout de sa localisation à mi- travée, c'est-à-dire dans la zone de sollicitation maximum. En plus le choc a provoqué aussi la fragmentation d'une partie importante de la poutre, se manifestant par des éclatements et des fissures dans la section de la poutre.

2/ Dégradations dues au défaut d'étanchéité et d'assainissement des eaux pluviales :

En effet, l'ouvrage a souffert pendant une longue période d'un défaut d'assainissement des eaux pluviales qui s'infiltrèrent à travers les joints de chaussée et de trottoirs ainsi qu'à travers les éléments de corniche. L'étanchéité générale du tablier est défectueuse notamment au niveau de la travée de rive franchissant la voie ferrée, on y observe des traces d'infiltration des eaux et la corrosion des tôles ondulées qui ont servies de coffrage perdu pour la dalle.

On note aussi le mauvais fonctionnement des avaloirs, qui laissent l'eau s'infiltrer autour des leurs réservations. Cette pathologie est très répondeue, elle est due à un mauvais raccordement de l'étanchéité du tablier au droit des avaloirs.

Le remblai d'accès « côté nord » a connu une érosion avec la déstabilisation des murets de soutènement qui étaient réalisés entre les pieux pour retenir le remblai. Ces murets sont fondés sur le remblai lui-même qui était mal compacté.

Toutes ces dégradations sont « congénitales », c'est-à-dire qu'elles sont les conséquences défauts de réalisation.

IV.2.5 Programme d'auscultation

Le programme d'essai sur cet ouvrage contient les mesures suivantes :

04 carottages D60 dans les poutres (A1, A2, A3,A4)

02 carottages D60 dans la culée nord (A5,A6)

Essais sclérométriques.

Essais ultrasoniques sur carottes et sur site.

Mesure d'enrobage des aciers par Ferroscan.

Tests de carbonatation sur béton, sur carottes et sur site.

Analyse chimiques sur béton.

IV.2.5.1 Essais sclérométriques:

Le programme devait porter sur l'analyse du béton du tablier, des piles et celui des culées Tableau IV.3.

Table IV-3 : Valeurs sclérométriques

Eléments	Indices sclérométrique	moyenne
sur culée Côté Nord	48-47-47-48-48-46-44-44-49	46,9
Poutres	53-56-50-50	52,3
	65-63-64-58	62,5
sur culée Côté sud	56-56-55-53-51-50-48-41-54-52	51,6
Pile	45-40-47-48-43-40-40	43,3

Les valeurs sclérométriques sont relativement élevées. Elles dépassent le seuil de 50, ce qui signifie que le béton testé est de bonne qualité.

IV.2.5.2 Essais ultrasoniques :

Les essais à l'ultrason sont réalisés à proximité des endroits testés au scléromètre, afin de faire la corrélation entre les deux mesures Tableau IV.4.

Table IV-4 : Vitesses ultrasoniques (m/s)

Eléments	Vitesse ultrasonique (m/s)
sur culée côté nord	2200
sur culée côté sud	2440
Pile	2730

Les mesures sont toutes surfaciques, les vitesses sont assez homogènes. La qualité du béton est correcte.

IV.2.5.3 Mesures du front de carbonatation:

L'ensemble des tests de carbonatation effectués ont indiqué que le front de carbonatation varie entre 28 mm et 32 mm, avec des valeurs faibles de l'ordre de 9 mm au niveau d'une poutre intermédiaire et au niveau de la culée côté nord Figure IV.3.



La solution de phénolphthaléine se colore même à moins de 10mm. Béton non carbonaté.



Mur de front de la culée « nord » carbonatation superficielle.

Figure IV-3 : Mesure du front de carbonatation

IV.2.5.4 Résultats des tests de carbonatation sur carottes :

Table IV-5 : Résultats des tests de carbonatation sur carottes

N°	ref. carotte	lieu de prélèvement	lecture immédiate (mm)	lecture a 24h (mm)
1	A1	poutre de rive Côté Skikda	30,0	32,0
2	A2	poutres intermédiaires	0,0	0,0
3	A3		9,0	9,0
4	A4	poutre de rive Côté Annaba	25,0	28,0
5	A5	culée nord	8,0	9,0
6	A6		24,0	30,0

IV.2.5.5 RESULTATS DES MESURES D'ENROBAGE DES ACIERS:

Table IV-6 : Résultats des mesures d'enrobage des aciers

Elément	Enrobage enregistré
sur culée Côté Nord	62mm- 54mm
sur culée Côté sud	55mm - 60mm

Les distances d'enrobage sont assez importantes. Tous les aciers situés loin de la zone carbonatée.

Table IV-7 : Résultats de l'analyse chimique sur béton

N°Sondage	lieu de prélèvement	sulfates	chlorures
A1	poutre de rive, Côté Skikda	1,3582	0,0117
A2	Poutres intermédiaires	1,7877	0,0117
A3		1,2423	0,0091
A4	poutre de rive, Côté Annaba	1,6841	0,0126
A5	culée nord	1,8041	0,0182
A6	poutre de rive, Côté Skikda	1,4011	0,0090

Pas de d'agressivité du béton par les chlorures et les sulfates. Les taux sont très faibles.

IV.2.6 Interprétation & diagnostic :

IV.2.6.1 Interprétation :

D'un point de vue résistance, le béton est de qualité et l'absence de pathologie liée à un défaut de résistance en est la preuve.

Cela est confirmé d'ailleurs par les résultats des mesures sclérométriques et ultrasoniques effectué in-situ, qui ont donné de très bons résultats.

Toutes les dégradations de béton relevées sur l'ouvrage sont la conséquence de défaut d'assainissement et d'étanchéité, lié dans la majorité des cas à des défauts de réalisation.

Le front de Carbonatation mesuré est inférieur à la distance d'enrobage des armatures, ce qui signifie que le risque de corrosion de celles-ci est écarté, pour le moment.

IV.2.6.2 Diagnostic:

Au terme de la campagne d'auscultation menée, on peut dire que le pré-diagnostic posé en première phase de l'étude est corroboré avec les résultats obtenus des essais réalisés.

L'ensemble des dégradations relevées sur l'ouvrage et répertoriées dans ce rapport peuvent être classées, suivant leurs origines, en deux catégories qui sont successivement :

1/ Dégradations dues aux chocs de véhicules en sur gabarit :

Il s'agit des désordres qui ont affecté les poutres de la travée 1 (travée de rive franchissement de la voie de circulation qui mène vers Skikda), dont le plus graves est celui subit par la poutre 8 (poutre d'extrémité « Ouest »), ou l'on a constaté la démolition quasi-totale du talon de la poutre sur environ 1.80 m et la rupture d'une gaine de précontrainte du câble inférieur, ainsi que le dénudement des torons et la rupture de plusieurs armatures passives. Il serait très difficile d'envisager la réparation de cette poutre du fait de la gravité de l'impact subit et surtout de sa localisation à mi- travée, c'est-à-dire dans la zone de sollicitation maximum. En plus le choc a provoqué aussi la fragmentation d'une partie importante de la poutre, se manifestant par des éclatements et des fissures dans la section de lapoutre.

2/ Dégradations dues au défaut d'étanchéité et d'assainissement des eaux pluviales :

En effet, l'ouvrage a souffert pendant une longue période d'un défaut d'assainissement des eaux pluviales qui s'infiltrèrent à travers les joints de chaussée et de trottoirs ainsi qu'à travers les éléments de corniche. L'étanchéité générale du tablier est défectueuse notamment au niveau de la travée de rive franchissant la voie ferrée, on y observe des traces d'infiltration des eaux et la corrosion des tôles ondulées qui ont servies de coffrage perdu pour la dalle.

On note aussi le mauvais fonctionnement des avaloirs, qui laissent l'eau s'infiltrer autour des leurs réservations. Cette pathologie est très répondeue, elle est due à un mauvais raccordement de l'étanchéité du tablier au droit des avaloirs.

Le remblai d'accès « Côté nord » a connu une érosion avec la déstabilisation des murets de soutènement qui étaient réalisés entre les pieux pour retenir le remblai. Ces murets sont fondés sur le remblai lui-même qui était mal compacté.

Toutes ces dégradations sont « congénitales », c'est-à-dire qu'elles sont les conséquences de défauts de réalisation.

IV.2.7 Diagnostic final

L'ouvrage est affecté par deux types de pathologies : la première est due aux chocs de véhicules en sur gabarit sur les poutres de la travée de rive qui franchisse le sens « Annaba vers Skikda », et la deuxième est relative aux dégâts des eaux sur les différents éléments de l'ouvrage.

1/ Dégradations dues aux chocs de véhicules en sur gabarit :

Il s'agit des désordres qui ont affecté les poutres de la travée 1 (travée de rive franchissement de la voie de circulation qui mène vers Skikda), dont le plus graves est celui subit par la poutre 8 (poutre d'extrémité « Ouest »), ou l'on a constaté la démolition quasi-totale du talon de la poutre sur environ 1.80 m et la rupture d'une gaine de précontrainte du câble inférieur, ainsi que le dénudement des torons et la rupture de plusieurs armatures passives. Il serait très difficile d'envisager la réparation de cette poutre du fait de la gravité de l'impact subit et surtout de sa localisation à mi- travée, c'est-à-dire dans la zone de sollicitation maximum et ou le tracé de câble est plus excentré vers le bas. En plus le choc a provoqué aussi la fragmentation d'une partie importante de la poutre, se manifestant par des éclatements et des fissures dans la section de la poutre.

2/ Dégradations dues au défaut d'étanchéité et d'assainissement des eaux pluviales :

En effet, l'ouvrage a souffert pendant une longue période d'un défaut d'assainissement des eaux pluviales qui s'infiltrèrent à travers les joints de chaussée et de trottoirs ainsi qu'à travers les éléments de corniche. L'étanchéité générale du tablier est défectueuse notamment au niveau de la travée de rive franchissant la voie ferrée, on y observe des traces d'infiltration des eaux et la corrosion des tôles ondulées qui ont servies de coffrage perdu pour la dalle.

On note aussi le mauvais fonctionnement des avaloirs, qui laissent l'eau s'infiltrer autour des leurs réservations. Cette pathologie est très répondeue, elle est due à un mauvais raccordement de l'étanchéité du tablier au droit des avaloirs. Le remblai d'accès « côté nord » a connu une érosion avec la déstabilisation

des murets de soutènement qui étaient réalisés entre les pieux pour retenir le remblai. Ces murets sont fondés sur le remblai lui-même qui était mal compacté. Toutes ces dégradations sont « congénitales », c'est-à-dire qu'elles sont les conséquences de défauts de réalisation.

Les essais d'auscultation effectués n'ont révélé aucune anomalie sur la qualité du béton en place aussi bien au niveau du tablier qu'au niveau de l'infrastructure.

IV.2.8 Projet de réhabilitation

IV.2.8.1 Nature des travaux

Le projet de réhabilitation de l'ouvrage comporte les travaux suivants :

1/ Installations et signalisation du chantier :

Etude d'exécution de la poutre à remplacer ; poutre de 25 ml en béton précontraint suivant le plan de réhabilitation joint au présent rapport,

2/ Remplacement de la poutre n°8 :

La poutre N°8 endommagées doit être remplacée par une autre poutre de même capacité.

Les travaux comprennent les taches suivantes :

Dépose des garde-corps et glissière de sécurité,

Démolition du hourdis, trottoir et dépose des corniches en prenant soin de ne pas couper les aciers transversaux nécessaires pour le recouvrement du ferrailage,

Dépose et transport de la poutre endommagée dans un lieu indiqué par le maitre de l'ouvrage,

Fourniture et pose d'une nouvelle poutre en béton précontraint qui sera posée sur les appareils d'appui de l'ancienne poutre,

Coffrage et ferrailage du hourdis au-dessus de la poutre, Reconstruction du trottoir et des corniches,

Remise en place des gardes de corps et glissière de sécurité.

3/ Réfection de l'étanchéité sur les bords de chaussée

Sciage et démolition de l'enrobé sur 1 mètres le long des bords de trottoirs, Démolition des bords de trottoirs sur 15 cm,

Pose d'une bordure de trottoir le long des bords des deux trottoirs,

Mise en place d'un complexe d'étanchéité avec relevé sur la bordure de trottoir, suivant le détail du plan de réhabilitation,

Obturation des vides entre éléments de corniche à l'aide d'un mortier de ciment,

Réalisation d'une chape en micro béton au-dessus des trottoirs, avec une pente vers la chaussée, suivant le détail du plan,

Reprise du revêtement de chaussée sur les zones décapées

4/ Réparation des bétons dégradés

Cette opération concernera les poutres de rive, les chevêtres des piles et les culées. Elle comprend :

Un sablage des parements de béton (poutres de rive, chevêtres des piles et culées, corniches)

La réparation de surfaces de béton dégradé (sur épaisseur ≤ 3 cm), après piquage complémentaire, passivant sur aciers dénudés, primaire d'accrochage et fabrication et mise en œuvre mortier hydraulique à base d'émulsion de résine,

Application d'une peinture spéciale pour la protection du béton contre agents extérieurs, au niveau des poutres et des corniches

5/ Réparation des poutres endommagées

Les poutres 1, 2,7 impactées par les chocs de véhicule en sur gabarit seront reprise comme suit :

Démolition du béton endommagé (épaufré ou fissuré),

Reconstitution des talons des poutres par mortier à base de résine époxy,

Fourniture et mise en place Tissu en Fibre de carbone pour leur compenser les aciers transversaux plastifiés.

6/ Remplacement des joints de chaussée et de trottoirs

Démolition des joints existants, compris solins d'ancrage

Fourniture et mise en place de nouveaux joints de chaussée homologués, souffle 50mm.

Fourniture et pose de joints de trottoirs, selon de détail du plan de réhabilitation

7/ Réfection remblai d'accès de la culée "NORD"

Le remblai d'accès au niveau de cette culée doit être protégé pour éviter une aggravation du phénomène d'érosion qui l'affecte. Les travaux sont définis comme suit

Réalisation d'un petit mur de soutènement en béton armé en bas du talus,

Reprofilage du remblai par ajout de matériaux et enlèvement des blocs de béton.

8/ Fourniture et mise en place de nouvelles avaloirs, compris foration, descente d'eau prolongée d'au moins 1.50 m au-delà des poutres,

9/ Réfection de la peinture des gardes de corps, compris décapage de l'ancien revêtement par sablage ou brossage et mise en œuvre d'un antirouille et d'une peinture de protection,

10/ Nettoyage des sommiers d'appui, comprenant démolition des murets en parpaing et nettoyage,

11/ Fourniture et mise en place d'un portique de gabarit en charpente métallique avant l'entrée de l'ouvrage, sur la voie assurant le sens « Annaba-Skikda »

IV.3 Ouvrage d'art sur RN 44 PK 0+800



Figure IV-4 : Vue D'ensemble Pont RN 44 PK 0+800



Figure IV-5 : Vue en route

IV.3.1 Présentation De L'ouvrage:

➤ **Situation géographique**

L'ouvrage expertisé franchit la route nationale RN 44 au PK 0+800.

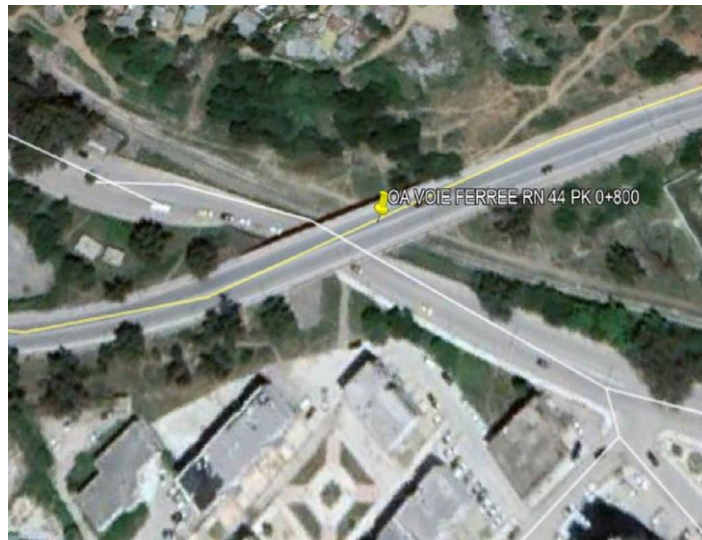


Figure IV-6 : Situation géographique

IV.3.2 Description Des L Ouvrage :

Table IV-8 : Description de l'ouvrage Pont Rail Rn 44 PK 00+800

PONT rail RN 44 PK 0+800	
Données administratives	Localisation : Skikda
	Voie portée : RN 44 PK 0+800
	Voie franchie : Voie ferrée++Chemin communal
	Type d'ouvrage : Pont à poutre béton précontraint
	Année de construction : Indisponible
Données géométriques	Tracé : Droit
	Biais : 100 grades
	Nombre de travées : 03
	Portée : 68 m
	Ouverture : 58 m
	Longueur de l'ouvrage : 68 m
	Largeur du tablier : 14m
	Surface de tablier : 812 m ²
Superstructure	Matériau : Béton armé
	Tablier : 2 X4 poutres et 2 X4 entretoises
	Structure : Travée Hyperstatique
Infrastructure	Matériau : Béton armé
	Piles : Pile voile Nombre de piles 2 X4
	Culées : Culées creuses protection Murs en retour
	Fondations :
Equipements	Appareils d'appui : 4X4 Fixes métalliques à balanciers
	Joints de chaussée : Inexistant
	Garde-corps : GC+PARAPET en BA
	Avaloirs : 00

Tableau IV.2. Classification désordres pont rail RN PK00+800

Pont rail PK00+800									
		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
Types d'élément				1	2	E2	3	3U	
Equipements	Chaussée	Aucun défaut. Figure IV-7	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	Aucun défaut. Figure IV-8	En bon état	X					
	Dispositif de retenue	En bon état Figure A.26	Sécurité des usagers	X					
	Corniches	Existantes mais non entretenues Végétation nuisible Figure A.52	engendre des phénomènes réactifs qui se traduisent par d'importantes altérations du béton et parfois même par des éclatements des enrobages.			X			
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Inexistants	Cause une dégradation sur l'ensemble de la superstructure (dalle ; joint de chaussée ; trottoir...)			X			
	Talus/ culee	Ecaillages du béton mur 1 Epaufrures en pied de mur 3 Eclatement de béton av avec armatures corrodées. Figure A.29/ Figure A.32/ Figure A.33/ Figure A.38	Dégradation et éclatement			X			
	appareils d'appuis	Totalement corrodés Figure A.55	la corrosion des appareils d'appuis métalliques à balanciers à rotule axiale peut être affecté par la rouille (foisonnement) et entrainer un défaut d'horizontalité de la rotule ou des balanciers				X		
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Mauvaise étanchéité vu les taches d'infiltration des eaux sur la dalle. Défaut	D'efflorescences et d'éclatement de béton mettant à nue les armatures constituant la phase ultime avant l'apparition de désordres				X		

		d'étanchéité au droit d'une des joints longitudinaux. Figure A.41	structurels						
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Pas de surface métallique		X					
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Inexistants	Risque de collision des véhicules hors gabarit avec la dalle ce qui pourra l'endommager		X				X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	la structure est en bon état apparent mais dont les équipements l'infiltration des eaux entre les joints	D'efflorescences et d'éclatement de béton mettant à nue les armatures constituant la phase ultime avant l'apparition de désordres structurels		X				

IV.3.3 Relève Des Dégradations :

L'ensemble des dégradations relevées sur l'ouvrage sont sollicités par des photos en Annexe.

IV.3.4. Désordres et dommages observés :

Le constat visuel fait sur site, nous permet de dire que l'ouvrage présente un état fonctionnel apparent acceptable. Cependant, il reste indispensable de souligner que certaines dégradations ou désordres sont de natures évolutives et nécessitent leur prise en charge pour annihiler le processus d'endommagement du béton et des armatures. Nous n'avons également constaté que cet ouvrage nécessite le renouvellement ou la remise à niveau de certains équipements. Ainsi les dégradations les plus récurrentes rencontrées sur ouvrage sont :

- ✓ Eclatements de bétons;
- ✓ Armatures dénudées et corrodées;
- ✓ Absence d'étanchéité des joints de chaussée et de trottoir;
- ✓ Infiltration d'eaux;
- ✓ Epaufrures sur béton;
- ✓ Ségrégation du béton;
- ✓ Végétation nuisible accrochées aux joints;
- ✓ Détérioration des murs cache;
- ✓ Corrosion, des appareils d'appuis;
- ✓ Absence de couvre joint des trottoirs .

IV.3.5. Origine Probable Des Dégradations :

Nous avons observé que les joints de chaussées aux niveaux des trottoirs ainsi que les joints longitudinaux ne sont pas étanche ce qui a permis aux eaux de pluie de pénétrer à travers les joints non étanches de se déversées sur les chevêtres où elles produisent de nombreuses altérations.

Nous avons constaté que là où il y a des signes d'écoulements les dégradations sont importantes et montrent que ces eaux sont très agressives. Ainsi la cause principale des dégradations est l'attaque chimique par les ions de chlorure (Cl-) qui provoque la corrosion des armatures et cette dernière engendre l'éclatement du béton.

La dégradation est particulièrement concentrée au niveau des intrados des tabliers, elle est en toute vraisemblance liée à l'infiltration des eaux de ruissellement.

Ainsi, ceci nous amène à conclure que le défaut d'étanchéité des joints est sans aucun doute la cause principale de l'altération des bétons. Effectivement, la percolation des eaux sur les façades est rendue possible en raison de la perte de l'étanchéité de l'ouvrage, principalement les joints longitudinaux, où l'on constate de grandes altérations du béton.

De même, l'absence de couvre joints de trottoirs est à l'origine de l'apparition d'altérations dans les zones d'encorbellements.

Les efflorescences constatées en sous face de tablier est un signe distinctif de la perte de l'étanchéité des joints longitudinaux. Autrement dit, les eaux de ruissellement sur la chaussée s'infiltreront à travers les joints non étanches et viennent percolées sur les éléments (poutres et dalles) situées en sous face des tabliers.

L'efflorescence prend la forme d'une substance poudreuse (un dépôt de sels minéraux) sur les parements des éléments du tablier. La présence d'efflorescences signifie que le matériau est touché.

IV.3.6 Auscultations :

L'auscultation est un outil de pronostic de l'évolution de l'ouvrage et d'estimation de son état, c'est pourquoi pour l'établissement de notre programme d'auscultation nous avons tenu compte de la nature des dégradations et des hypothèses formulées sur leurs origines Figure IV.9.

Également, ce pronostic fait appel à des modèles de vieillissement dont les paramètres peuvent être évalués par des mesures et affinés au fur et à mesure de la campagne d'auscultation de l'ouvrage.



Figure IV-7 : Ferroskan Ps 200

Ce système est basé sur la mesure de la perturbation d'un champ magnétique généré en surface. Ce système permet la détection, la détermination de la profondeur et l'estimation du diamètre des armatures.

4 Enrobages détectés :

Les épaisseurs les plus faibles détectées par le Ferroskan ont été obtenues sur les murs en retour des culées ainsi que sur les dalles de rigidité. Les épaisseurs d'enrobages obtenues sur ces éléments se situent entre 15 et 20 mm environ. Il faut noter que les épaisseurs d'enrobages sont fonction de la classe d'exposition du milieu ambiant du site de, l'ouvrage (Classe d'agressivité de l'environnement de l'ouvrage). En application de documents de référence, il s'avéré que l'ouvrage est implanté dans un environnement agressif est que l'épaisseur minimale doit être de 35 mm. Donc pour les fûts et les âmes de poutre cette valeur minimale n'a pas été respectée. Les conséquences seraient un risque d'agression du milieu avec une éventuelle corrosion des armatures en raison d'une épaisseur insuffisante des enrobages. D'ailleurs, c'est sur ces éléments (Dalle de rigidité, murs de front et murs en retour) qu'il est observé des éclatements des bétons d'enrobages avec apparition d'armatures corrodées.

5 Evaluation des diamètres :

Pour les dalles de rigidité, les diamètres des armatures détectées se situent entre 18 et 21 mm, soit un diamètre nominal de 20 mm pour la fibre tendue. Pour les murs en retour ainsi que les murs de front, les valeurs obtenues varient entre 14 à 18 mm pour les armatures horizontales et 16 mm à 19 mm les armatures verticales.

6 Evaluation de la pose des armatures :

Pour l'ensemble des images scan, il a été constaté que les armatures sont alignées correctement tant dans le sens longitudinale que transversales des éléments auscultés dénotant un espacement régulier des barres d'armatures. En conclusion on peut avancer que nonobstant les épaisseurs des enrobages où il a été détecté des variations substantielles des valeurs, on peut considérer que les barres d'armatures ont été parfaitement posées pour l'ensemble des éléments auscultés Figure IV.10.



Figure IV-8 : Auscultation Dynamique AU 2000

L'ausculteur dynamique AU 2000 détermine la qualité des matériaux de construction en mesurant la vitesse de propagation du son dans ces matériaux : béton, maçonnerie, bois, pierres suivant la norme NFP 18-418. Cet instrument permet aussi la recherche de zones hétérogènes, de vides ou de fissures. Nous avons procédé à un calcul statistiques pour assurer un maximum de représentativité aux valeurs obtenues. Ce calcul est basé sur la norme ISO+03.120.30 valable pour toutes les méthodes statistiques. A la lumière des résultats obtenus, il s'avéré que le béton mis en place possédé d'excellentes performances mécaniques. Poutres Huit (08) poutres ont été auscultées, les valeurs obtenues font ressortir un béton de très bonne qualité où les performances mécaniques vont de 24 Mpa obtenue sur la poutre C1 et la valeur la plus élevée 26.3 Mpa obtenue sur la poutre A2. Dalle de rigidité Sur huit (08) dalles constituant les éléments porteurs principaux de la superstructure, quatre (04) ont été auscultés. Compte tenu de l'âge avancé de l'ouvrage, les résultats enregistrés sont jugées parfaitement acceptable car toutes supérieurs à 25 Mpa. Murs de front Sur les murs de front accessibles à l'auscultation, nous avons obtenu une résistance nominale évaluée entre 25.9 et 26.2 Mpa, ce qui s'avère être une excellente performance mécanique. Pour ces éléments nous devons considérer donc que les résultats sont pleinement satisfaisants. Murs en retour Sur ces éléments, nous avons enregistré des résistances nominales oscillent entre 23.2 et 26.2 Mpa que nous considérons comme tout à fait excellentes. Rappel des résultats obtenus : Selon la norme Européenne NF EN 206-1 classifiant les bétons de structure suivant leur résistances mécaniques, et compte tenu des résultats obtenus par la campagne d'auscultation dynamique, les bétons auscultés seront classifiés dans la catégorie :

B25 considérés comme étant de bonnes performances mécaniques. Mesures topo métriques Figure IV.11: La topométrie est un des moyens qui permettent de quantifier ces déplacements ou déformations : La topométrie est définie comme l'ensemble des opérations techniques permettant d'établir la présence de pathologies telles que : Déplacement du tablier, Tassement d'appuis, Modifications de la géométrie des parties d'ouvrages et mouvements de terrains environnants.



Figure IV-9 : Mesure Topo Métriques

IV.3.7. Evaluation de l'état de l'ouvrage :

L'absence d'entretiens préventifs périodiques ont permis aux eaux de ruissellement pures ou plus ou moins chargées d'ions agressifs, les conditions climatiques et les conditions d'exploitation de la route, nécessitant en hiver le répandage de sels de déverglaçage, rendent les ouvrages très vulnérables. L'absence d'étanchéité favorise les infiltrations de l'eau. Les ions agressifs sont véhiculés dans la structure de l'ouvrage et provoquent la corrosion des aciers, leur gonflement et la dégradation du béton ou des joints en mortier. L'effet conjugué des chlorures et des cycles gel-dégel est également très pénalisant. Les dégradations seront d'autant plus rapides et plus importantes que les caractéristiques intrinsèques des matériaux et la qualité de leur mise en œuvre sont moins bonnes. La dégradation ou l'absence de l'étanchéité est également dans l'une des principales causes de l'apparition de nombreuses altérations des façades en béton armé de l'ouvrage. Suite à quoi, au vu du relevé visuel des dégradations, nous considérons qu'à priori l'ouvrage n'affiche aucun signe de défaillance structurelle à l'heure actuelle. En effet, hormis les facteurs d'influence de la dégradation cités en préliminaire de ce chapitre.

Toutefois ; la poursuite de ce phénomène entraînera inévitablement une perte de section du ferrailage qui n'est plus à même de supporter les efforts prévus. A ce moment-là, la structure se fissure dans les zones les plus sollicitées avant de casser.

IV.3.8 Cotation Ou Classification De L'ouvrage :

Pour l'évaluation de l'ouvrage nous avons utilisé la méthode Image Qualité des Ouvrages d'art (IQOA), cette méthode décompose le pont en 3 parties :

- La structure qui comprend le tablier, les appuis et leurs fondations et les appareils d'appuis: Les éléments de protection.
- Les équipements (de confort et de sécurité).

l'ouvrage situé sur la route nationale N44 au point kilométrique 0+800, suivant le relevé de dégradation, est classé dans, la catégorie 2E c'est à dire : Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts.

IV.3.9 Solutions De Réhabilitation :

IV.3.9.1 Principes de la méthodologie adoptée :

La méthode adoptée repose sur les étapes suivantes :

Elimination des causes de l'apparition des dommages.

Choix des techniques de réparation et des matériaux à utiliser.

Désignation des équipements à remplacer ou à installer.

Désignation des parties à réparer.

Recommandations particulières.

IV.3.9.2 Elimination des causes de l'apparition des dommages :

Il a été recensé trois origines possibles, une conception ancienne non adaptée à l'environnement actuel, un vieillissement des matériaux ainsi que l'absence d'un entretien préventif périodique. Aussi, il est proposé ce qui suit :

IV.3.9.2.1. Adaptation du système d'évacuation des eaux de pluie :

Il est apparu que certaines parties de l'ouvrage doivent être réadaptées pour ne pas provoquer de désordres ou en être à l'origine.

Tel que préciser auparavant, constaté un dysfonctionnement quasi total du système d'évacuation des eaux de pluie. Cet état de fait, due en partie à l'absence d'avaloirs et de descentes d'eau, a engendré une détérioration de l'étanchéité de l'ouvrage qui semble être à l'origine des infiltrations observées sur l'intrados (dalles, poutres).

Aussi, il est proposé l'installation, d'avaloirs prolongés par des descentes d'eau et la mise en place de joints de trottoirs.

IV.3.9.2.2. Mise en place de joints de trottoirs :

L'absence d'étanchéité ou une étanchéité imparfaite en surface favorise les infiltrations de l'eau dans le corps de remplissage du trottoir qui va ainsi se comporter comme une éponge. L'eau ressortira en sous-face du tablier corrodant les aciers et endommageant le béton. Le processus de dégradation sera accéléré si l'eau est chargée.

Il sera donc nécessaire de réaliser une étanchéité complète de l'ensemble des joints de l'ouvrage et de ses trottoirs. A l'origine de l'apparition de dégradations sur les encorbellements de trottoirs, l'absence des joints de trottoirs est susceptible de mettre en péril le béton de cette zone névralgique.

La mise en place de joint de trottoirs est nécessitée pour rendre étanche les souffles des joints de trottoirs et empêcher les eaux de ruissellement de s'infiltrer en intrados des encorbellements et produire d'importants désordres.

IV.3.9.2.3. Etanchement des joints de chaussée :

Le joint de chaussée est le dispositif qui équipe une coupure du tablier lorsque les lèvres de cette coupure se déplacent l'une par rapport à l'autre. C'est un équipement important pour le bon fonctionnement de l'ouvrage et sa durabilité.

Dans le cas de cet ouvrage des signes tangibles de la défaillance des joints de chaussée ont été aperçus sur les appuis de l'ouvrage, il s'agit notamment de traces de venues et d'efflorescences visibles sur les murs de fronts des culées et sur le chevêtre de la pile intermédiaire.

Les joints de remplacement devront être étanches ou disposer d'un bon recueil des eaux et ne pas être un point de pénétration de l'eau sous l'étanchéité.

Pour l'étanchement des joints longitudinaux de cet ouvrage nous proposons le concept de traitement des joints, avec des produits qui se distinguent par leur facilité de mise en œuvre (réalisation manuelle) grâce à leur maniabilité et performances des mortiers prêts à l'emploi.

IV.3.9.2.4. vieillissement des matériaux :

Le vieillissement et la fatigue des matériaux et des équipements peuvent être mis en cause pour la plupart des désordres observés sur l'ouvrage : quelques défauts d'enrobage, l'usure et l'exposition de l'ouvrage à un environnement agressif depuis sa réalisation ont provoqués des désordres, sur le béton et les aciers, caractérisés par des éclatements, des altérations des parements et la corrosion des aciers apparents. Aussi, il est proposé pour remédier à ces désordres de procéder à la réparation des éclatements du béton et au traitement des aciers corrodés.

IV.3.9.2.5. Corrosion des appareils d'appuis :

La corrosion des appareils d'appuis métalliques est consécutive à l'absence d'un entretien périodique préventif.

Les facteurs les plus courants d'influence de la dégradation des appareils d'appuis sont :

L'état de l'appui à proximité des bossages (relevé des fissures, épaufrures, etc.),

Le blocage du tablier contre le mur garde-grève ou contre la travée contiguë,

La contamination éventuelle de l'environnement pouvant porter atteinte à l'intégrité des bossages et des appareils d'appui (présence d'eau, de végétation, de terre, huiles, etc.).

IV.3.9.2.6. Des défauts liés au manque d'entretien :

Nous proposons pour palier à ce problème, que le maître de l'ouvrage met en place des procédures portant surveillance et entretien des ouvrages d'art. Ces procédures qui restent simple à mettre en place reposent essentiellement sur une organisation interne au niveau des subdivisions territoriales qui devront créer des équipes dédiées au ouvrages d'art chapeautées par des techniciens et /ou ingénieurs. Ces équipes agiront selon un calendrier préétablis par rapport à des priorités fixées selon une classification des ouvrages arrêtées.

Aussi, pour rattraper un tant soit peu l'absence d'entretien il est proposé ce qui suit :

IV.3.9.2.6.1 Dévégétalisation de l'ouvrage et ses abords :

L'entretien courant sur ouvrage d'art demande peu de moyens et peu de technicité. Il se distingue de l'entretien spécialisé qui relève de techniques spécifiques non courantes.

L'entretien courant ne nécessite pas d'études. L'entretien comprend essentiellement :

- ✓ Le nettoyage de la chaussée, l'enlèvement des dépôts qui se créent sur les rives de la chaussée ;
- ✓ Le nettoyage des joints de chaussée et de leurs accessoires, des joints divers,
- ✓ Le nettoyage des trottoirs, notamment ceux qui comportant des petites dalles amovibles ;
- ✓ Le maintien en état des dispositifs de retenue, des accès de visite, le nettoyage des sommiers d'appui,
- ✓ Toutes autres opérations de nettoyage (piédroits de tunnels, par exemple).

Il comprend en outre l'élimination de toute végétation nuisible sur l'ensemble des ouvrages et aux abords.

IV.3.9.2.6.2. Traitement des façades :

Dans l'objectif de nettoyer les sous faces des éléments situés en intrados, il est préconisé un traitement superficiel des surfaces.

Le traitement consistera à projeter un produit agréé propice pour épurer toutes les surfaces des souillures hautement préjudiciables envers les bétons, telles que les efflorescences et autres traces de coulure et de suie ou de champignons.

Il est naturellement entendu que le produit qui devra être utilisé sera spécialement conçu pour le ravalement des façades en béton.

Après nettoyage adapté de toutes les façades en bétons, il sera appliqué un produit synthèse de protection contre les agressions physico-chimiques.

Le produit devra assurer la protection contre la pénétration des chlorures, contre l'écaillage de surface du béton dû au gel/dégel. Le produit doit aussi satisfaire à d'autres fonctions optionnelles complémentaires telles que la décoration, la bonne tenue au lessivage, la résistance à de fortes agressions physiques ou chimiques.

IV.3.9.3. Choix des techniques de réparation et des matériaux à utiliser :

IV.3.9.3.1. Réparation des bétons dégradés :

Pour la réparation des éclats du béton de certain élément on devra impérativement utilisé un mortier en résine époxy seul garant de la réussite de la réparation.

Effectivement, la réparation d'un élément en béton qui fait généralement intervenir deux matériaux très différents, où la mise en place d'un béton jeune sur un support de béton plus ancien provoque différents types de problèmes, tant physico-chimique, que mécaniques, liés à la compatibilité au sens large des deux matériaux en contact.

De plus, certaines structures actuelles se caractérisent par la complexité de leurs géométries telles les formes variables, les courbures multiples ainsi que leur forte concentration en armatures. Par conséquent, l'application des bétons usuels à ces types d'ouvrages entraîne des défaillances

Donc, l'obtention d'une compatibilité mécanique conduit vers une réparation durable, qui nécessite l'utilisation de mortier à base de polymères.

IV.3.9.3.2. Traitement des armatures corrodées :

La corrosion des armatures est effectivement un paramètre fondamental de la durabilité des bétons dans les ouvrages, Les causes et ses mécanismes de la corrosion étant fort connus, nous nous abstenons donc d'aborder le sujet et évoquerons succinctement les solutions envisageables pour stopper cette pathologie très nuisible pour l'intégrité des armatures.

La corrosion des armatures du béton armé est donc une des pathologies qui altèrent fortement et fortement (Evolution en fonction de l'agressivité du milieu ambiant) les performances des structures.

Aussi, pour éviter les conséquences de cette corrosion qui sont la modification du comportement des armatures, un traitement efficace anti corrosion devra être exécuté.

Ce traitement consistera à procéder à la passivation des armatures

IV.3.9.3.3. Réparations des épaufrures :

Pour la réparation des éclats (épaufrures) du béton on doit utiliser un mortier constitué de ciment naturel Prompt (à prise rapide) ayant des caractéristiques mécaniques très élevées et une bonne adhérence ainsi qu'une durabilité lui permettent d'être adapté à de multiples milieu ambiant.

Le mortier de réparation à utiliser doit permettre surtout la réparation des bétons : notamment les appuis d'arrêtes et toutes, épaufrures, bétons de bordures, etc.

Utilisé en mortier ou en béton, le ciment naturel Prompt permet de gagner du temps sur les chantiers et dans bien des cas, d'apporter une très bonne solution pour les travaux de réparation courante, en extérieur.

Le mortier de réparation doit permettre de réaliser ce type de travaux dans n'importe quel milieu, même difficile : les travaux exposés à des agressions physico-chimiques ainsi que les travaux en grande hauteur et travaux d'urgence en milieu périlleux sans nécessité l'emploi de coffrage.

Notamment, les butées doivent venir en contact avec une plaque (ou frette extérieure) dont l'épaisseur sera au moins égale à la hauteur de la butée (appareils d'appui de type C de la norme NF EN 1337-3). En aucun cas, la butée ne doit se faire sur le feuillet en élastomère.

IV.3.9.3.4. Traitement des bétons ségrévés :

La rhéologie inadaptée ou une vibration insuffisante d'un béton trop ferme ou d'un béton d'une pièce très armée peut provoquer un mauvais remplissage du moule constitué par les coffrages. Cette insuffisance peut aussi affecter la liaison béton - armatures.

On peut ainsi constater la présence de lacunes, véritables trous dans la structure. Dès lors, il faudra apprécier la possibilité d'une réparation dont le but sera de reconstituer le monolithisme.

L'apparition de défauts de surface, tels que les nids de cailloux, constitue une présomption de l'existence de défauts internes dont il est difficile d'apprécier l'importance. Les réparations de surface ne peuvent remédier à ces défauts internes.

Ce phénomène peut entraîner un tassement du squelette du béton, et être à l'origine de fissures.

Les efforts mal répartis entraînent alors des fissurations et des élancements du béton.

Au contraire, un excès de vibration, surtout sur une formule béton insuffisamment étudiée, peut provoquer une ségrégation des granulats, souvent en fond ou au contact du moule, créant ainsi un surdosage en granulats et donc un manque de mortier.

Dans de telles zones, les aciers peuvent être insuffisamment protégés et des vides peuvent se créer entre les granulats, rendant le matériau poreux. Ce type de défauts peut aussi avoir pour origine une étanchéité du coffrage insuffisante entraînant des fuites de laitance.

Il convient dès lors, en fonction de l'étendue et de la gravité du défaut et des sollicitations dans la partie d'ouvrage, de choisir entre un revêtement de surface,

Les produits utilisés pour la réparation et la protection du béton doivent être marqués CE conformément à la partie appropriée de la norme EN 1504.

Ce marquage de conformité CE contient les informations suivantes (exemple d'un mortier de réparation de béton adapté à une utilisation structurale) :

. Les produits et les méthodes à utiliser dans la réparation des bétons seront également entièrement conformes à la Norme Européenne EN 1504-9. En tout état de cause, dans un souci de répondre aux exigences du maître d'ouvrage, les principes de réparation et de protection doivent être sélectionnés, avec la meilleure méthode de mise en œuvre.

. Les produits à utiliser devront être appropriés aux conditions et aux exigences du site.

IV.4 Ouvrage d'art sur RN 44 AU PK 6+400 Pont échangeur



Figure IV-10 : Vue générale Pont échangeur RN 44 PK 6+400

IV.4.1. Description sommaire de l'ouvrage :

Table IV-9 : Description De L'ouvrage Pont Mixte PK6 +400

Pont sur échangeur	
Données administratives	Localisation : SKIKDA
	Voie portée : RN 44 PK 6+400
	Voie franchie : ECHANGEUR
	Type d'ouvrage : Béton précontraint
	Année de construction : Années 2000
Données géométriques	Tracé : Droit
	Biais : 70 grades
	Nombre de travées : 02
	Portée : 25 m
	Ouverture : 23,50
	Longueur de l'ouvrage : 50,00 m
	Largeur du tablier : 10,30 m [chaussée : 8,00 m + trottoirs de 1,45 m et 0,85 m]
	Surface de tablier : 515 m ²
Superstructure	Matériau : Mixte (Acier / Béton)
	Tablier : 03 poutres en PRS entretoisées + un hourdis
	Structure : Travée isostatique
Infrastructure	Matériau : Béton armé
	Piles : Portique
	Culées : Culée remblayai
	Fondations : Sur pieux probablement
Equipements	Appareils d'appui : Néoprène fretté
	Joints de chaussée : Joint à bande
	Garde corps : Métalliques
	Avaloirs : 20 (avec collecteur)

Table IV-10 : Classification désordres pont mixte RN 44 PK6 +400

Pont Mixte PK6 +400									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	Aucun défaut. Figure A.66	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	trottoirs endommagés Figure A.66	Danger sur les piétons et les usagers surtout la nuit.						X
	Dispositif de retenue	Garde-corps En bon état Figure A.66	Sécurité des usagers	X					
	Corniches	Existantes mais non entretenues							
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Système d'évacuation des eaux défectueux (rupture d'une partie du collecteur des eaux). Figure A.65	Début de corrosion des poutres et des entretoises.						
	Talus/ culée	Trace d'humidité et d'écoulement des eaux sur le mur frontal des culées. Figure A.64	Dégradation et éclatement du talus par la végétation.						
	APPUIS	Trace d'humidité et d'infiltration des eaux avec fissuration d'écaillage du béton au niveau du chevêtre de la pile.	corrosion et gonflement des armatures				X		
	Joints de chaussés et de trottoirs	Inexistants . Le défaut d'étanchéité des joints de trottoirs permet la pénétration progressive des agents agressifs véhiculés	Début de corrosion des poutres et des entretoises.			X			
	La chape d'étanchéité	Etanchéité est bonne		X					

Eléments de protection	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Les surfaces métalliques telles que les poutres corrodées, sans entretien de revêtement anticorrosion. Figure A.60	Dégradation de la structure porteuse (poutre métallique).			X			
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Inexistants	Risque de collision des véhicules hors gabarit avec la dalle ce qui pourrait l'endommager		X				X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Moyen, vu le constat un début de corrosion des poutres métalliques Déversement localiser de la semelle inférieure de la poutre). Figure A.58 Détachement de l'entretoise Les pille et les culées sont en moyen état apparent vue les petites dégradations. Figure A.60	La corrosion totale des poutres métalliques et la dégradation de l'ensemble de l'ouvrage			X			

IV.4.2. Relève Des Dégradations :

L'ensemble des dégradations relevées sur l'ouvrage sont sollicités par des photos en Annexe .

IV.4.3. Etat de service de l'ouvrage :

IV.4.3.1. Calcul :

Le calcul des sollicitations provoquées dans le tablier par les charges et surcharges a été effectué selon la méthode des éléments finis.

Compte tenu l'année de réalisation de l'ouvrage (année 2000) nous avons recalculé le tablier sous le programme des surcharges actuelles définis par le **DTR** « Règles Définissant Les Charges A Appliquer Pour Le Calcul Et Les Epreuves Des Ponts Routes Les Surcharges » sans convoi exceptionnel (D).

Ce calcul permet de déduire les surcharges maximales autorisées à emprunter l'ouvrage :

- Valeur du poids total en charge du véhicule à essieux isolé (de même caractéristiques que le camion Bc) supposé circuler seul et a l'axe de l'ouvrage a une vitesse < 30km/h
- Valeur du poids total en charge du convoi exceptionnel type porte-char réparti uniformément sur un rectangle de 18,60m de long par 3,20m de large supposé circuler seul et a l'axe de l'ouvrage a une vitesse < 30km/h.

IV.4.3.2. Résultats :

Table IV-11 : Sollicitations Max sous combinaison

	CAS DE CHARGE DEFAVORABLE	SOLLICITATION MAX SOUS COMBINAISON	
FLEXION (T.M)	SYSTEME DE CHARGE A(L)	690 t.m à l'ELU	490 t.m à ELS
EFFORT TRANCHANT (T)	SYSTEME DE CHARGE A(L)	124 t à l'ELU	

IV.4.3.3. Conclusion:

- Les travaux de réhabilitation du pont relèvent de l'entretien spécialisé et sont définis plus bas.
- Le poids total autorisé en charge du convoi exceptionnel sur le pont est :

Table IV-12 : Poids total autorisé en charge du convoi exceptionnel

CONVOIE SUR ESSIEUX	SANS RENFORCEMENT : 80 t
CONVOIE SUR PORTE- CHAR	SANS RENFORCEMENT : 204 t

IV.4.4. Cotation Ou Classification De L'ouvrage :

L'ouvrage situé sur la route nationale n44 au point kilométrique 6+400, suivant le relevé de dégradation, est classé dans, la catégorie 2E c'est à dire :

Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts.

IV.4.5. Travaux De Réhabilitation :

IV.4.5.1 Travaux De Préparation :

Travaux de démolition des murs-cache (**en parpaing**) sur sommiers d'appuis.

Sciage de l'hourdis en béton armé (**ep=25cm**).

Dépose poutre (**poutre+hourdis**) compris découpe entretoise par oxycoupage.

Démolition béton armé de l'hourdi sur une largeur de **1,50m** pour mise à nu des aciers.

Démolition des dallettes sur trottoirs de rive y compris nettoyage.

IV.4.5.2 Travaux De Réparation :

- Fourniture et pose poutre métallique en **PRS** de nuance **S355** y compris connecteur et assemblage avec entretoises.
- Fourniture et mise en œuvre de béton **RN27** pour hourdis.
- Fourniture et mise en place des Aciers **HA Fe40A** y compris façonnage.
- Fourniture et mise en place des corniches préfabriquées en béton armé sur le nouveau trottoir
- Fourniture et mise en place des garde-corps métallique sur le nouveau trottoir.
- Sablage des poutres et des entretoises, application de deux couches de protection et une couche de peinture.
- Mise en place des joints sous trottoirs en Polyuréthane couvert avec une tôle fixé d'un seul côté.
- Mise en place des joints de chaussées à bande (type Alga T50 ou équivalent) sur la travée de la poutre a changé.
- Remplacement d'avaloir existant avec avaloir équipé d'une grille 400x400mm et de gargouilles en PVC Ø150mm de 1,75m de longueur.
- Fourniture et mise en œuvre d'un béton dosé à **200kg/m3** pour remplissage des trottoirs de rive 2-11 / Fourniture et pose des fourreaux en **PVC Ø150 mm** comme réservation dans les trottoirs.

IV.5 Pont Sur Oued Righa CW 12 Pk 14+800

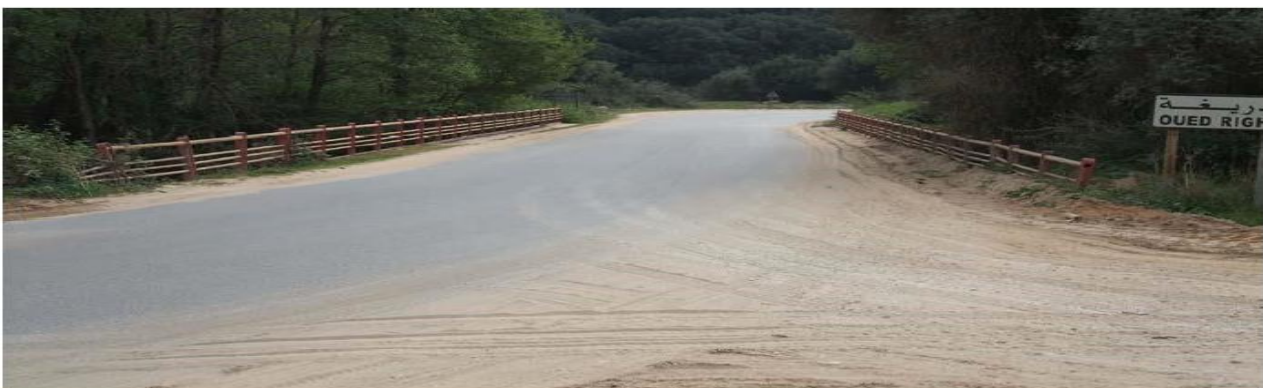


Figure IV-11 : Vue générale Pont Sur Oued Righa Cw 12 Pk 14+800

IV.5.1 Description de l'ouvrage :

Table IV-13 : Description De L'ouvrage CW 12 PK 14+800

Pont sur Oued Righa	
Données administratives	Localisation : Localité de flifla
	Voie portée : CW 12 PK 14+800
	Voie franchie : Oued Righa
	Type d'ouvrage : Béton armé
	Année de construction : Les années 50
Données géométriques	Tracé : Droit
	Biais : 100 grades
	Nombre de travées : 01
	Portée : 25,00 m
	Ouverture : 24,00 m
	Longueur de l'ouvrage : 26,00 m
	Largeur du tablier : 9,60 m [chaussée : 7,60 m + 2 trottoirs de 1,00m]
Surface de tablier : 250 m ²	
Superstructure	Matériau : Béton armé
	Tablier : 4 poutres + un hourdis + 6 entretoises dont 2 d'about
	Structure : Travée isostatique
Infrastructure	Matériau : Béton armé
	Piles : Néant
	Culées : Massives à murs en retour
	Fondations : Puits (probablement)
Equipements	Appareils d'appui : Néant [probablement tôle recouverte de caoutchouc vulcanisé]
	Joints de chaussée : Type couvert
	Garde-corps : Métalliques
	Avaloirs : 00

Table IV-14 : Classification désordres Pont CW 12 PK 14+800

Pont CW 12 PK 14+800									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2 E	3	3 U	
Équipements	Chaussée	Aucun défaut. Figure A.78	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	Hauteur insuffisante des trottoirs. Figure A.79	Augmentation des charges permanente et possibilité pour les véhicules de rouler sur les trottoirs			X			X
	Dispositif de retenue	Corrosion superficielle des garde-corps. Figure A.79			X				
	Corniches	Eclatement de béton avec dénudement et corrosion des armatures au niveau des corniches. Figure A.69				X			
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Inexistant	.			X			X
	Talus/ culée	Efflorescences et humidité sur le mur frontal des deux culées. Figure A.76				X			
	APPUIS	Efflorescences, humidité et éclatement de béton avec dénudement et corrosion des armatures au niveau du chevêtre des appuis. Figure A.75	Corrosion et gonflement des armatures				X		
	Joints de chaussées et de trottoirs	Le défaut d'étanchéité des joints de trottoirs				X			
	La chape d'étanchéité	Etanchéité est bonne		X					

Eléments de protection	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Corrosion superficielle des garde-corps ,sans entretien de revêtement anticorrosion Figure 4. 55				X			
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Inexistants			X				X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Moyen, vu le constat fissure transversal à mi travée au niveau du talon qui se prolonge verticalement sur l'âme de la poutre. Figure A.69 Fissure oblique d'un angle de 45° sur zone d'appuis appui. Efflorescences et humidité sur les entretoises d'about				X			

IV.5.2. Relève Des Dégradations :

L'ensemble des dégradations relevées sur l'ouvrage sont sollicités par des photos en Annexe.

IV.5.2. Auscultation :

Des tests sclérométriques et ultrasoniques ont été pratiqués sur les deux poutres centrales du tablier.

IV.5.2.1. Sclérométrie :

Table IV-15 : Résultat de Scléromètre

Localisation	Valeur sclérométrique		Occurrence	Résistance (bars)
poutre aval (section d'about)	54	→ ame	1 fois	660
	48		1 fois	560
	52		1 fois	620
	48	talon →	1 fois	560
	50		1 fois	580
	53		1 fois	640
poutre amont (à mi travée)	52	→ ame	1 fois	620
	50		1 fois	580
	50		1 fois	580
	50	↑ talon	1 fois	530
	50		1 fois	530
	52		1 fois	570
	MOYENNE			585 bars

IV.5.2.2. Vitesses ultrasoniques :

Table IV-16 : Vitesse ultrasoniques

Localisation	Temps de propagation (μ s)	Vitesse de propagation (m/s)	Conclusion
poutre aval	53,5	3740	bonne qualité
poutre amont	53,85	3765	bonne qualité

Test sclérométrique horizontal sur **talon** de la poutre



Figure IV-12 : Poutre centrale Côté amont



Figure IV-13 : Poutre centrale côté ava

IV.5.3. Etat de service de l'ouvrage :

IV.5.3.1. Calcul :

Le calcul des sollicitations provoquées dans le tablier par les charges et surcharges a été effectué selon la méthode des éléments finis.

Compte tenu l'année de réalisation de l'ouvrage (**années 50**) nous avons recalculé le tablier sous le programme de surcharges du règlement en vigueur à l'époque, à savoir règlement de **1940**, afin de savoir si le tablier nécessite ou non un **renforcement** pour reprendre les surcharges actuelles définis par le **DTR** « Règles Définissant Les Charges A Appliquer Pour Le Calcul Et Les Epreuves Des Ponts Routes Les Surcharges ».

Ce calcul permet de déduire **l'état actuel de service** de l'ouvrage (sans confortement) et **l'état de service après renforcement**.

Par état de service on entend surcharges maximales autorisées à emprunter l'ouvrage :

- Valeur du poids total en charge du véhicule à essieux isolé (de même caractéristiques que le camion Bc) supposé circuler seul et à l'axe de l'ouvrage a une vitesse < 30 km/h
- Valeur du poids total en charge du convoi exceptionnel type porte-char réparti uniformément sur un rectangle de 18,60m de long par 3,20m de large supposé circuler seul et à l'axe de l'ouvrage a une vitesse < 30km/h.

IV.5.3.2. Résultats :

IV.5.3.2.1. Surcharges de 1940:

A. Poutres rive :

Table IV-17 : Sollicitations Max sous combinaison

	Cas de charge défavorable	Sollicitation max sous combinaison	Ferraillage estime
Flexion (T.M)	Charge repartie P	654,95	36 Ø 40 (452,4 cm ²)
Effort tranchant (T)	Charge repartie P	115,15	3 Ø14 e =12,5 cm (At = 9,23cm ²)

B. Poutres intermédiaire :

Table IV-18 : Sollicitations Max sous combinaison

	Cas de charge défavorable	Sollicitation max sous combinaison	Ferrailage estime
Flexion (T.M)	Charge repartie P	347,58	18 Ø 40 (226,2 cm²)
Effort tranchant (T)	Charge repartie P	88,50	(1Ø14+1Ø12) e = 12,5 cm (At = 5,34cm²)

IV.5.3.3. Surcharges actuels :

A. Poutres rive :

Table IV-19 : Sollicitations Max sous combinaison

	Cas de charge défavorable	Sollicitation max sous combinaison		Ferrailage estime
Flexion (T.M)	Charge repartie P	912,10 T.M à l'ELU	678,00 T.M à ELS	36 Ø 40 (452,4 cm²)
Effort tranchant (T)	Charge repartie P	171 T.M à l'ELU		3 Ø14 e = 11 cm

B. Poutres intermédiaire :

Table IV-20 : Sollicitations Max sous combinaison

	Cas de charge défavorable	Sollicitation max sous combinaison		Ferrailage estime
Flexion (T.M)	Charge repartie P	484,25 T.M à l'ELU	360,48 T.M à ELS	18 Ø 40 (226,2 cm²)
Effort tranchant (T)	Charge repartie P	102,30 T.M à « l'ELU		(1Ø14+1Ø12) e = 10,5 cm

IV.5.4. Diagnostic :

Les calculs d'état de service de l'ouvrage ont montré que vis-à-vis de la flexion, le ferrailage existant est suffisant si on suppose que la fissuration est peu préjudiciable, mais insuffisant si elle est considérée comme préjudiciable, ce qui est le cas pour ce pont situé en zone proche de la mer.

Les fissures de flexions relevées (qui traversent le talon) s'expliquent non pas par insuffisance d'armatures mais par manque de dispositions pour limiter la fissuration, il n'y a donc pas lieu de renforcer le tablier vis-à-vis de la flexion. Les fissures inclinées à 45° près des appuis s'expliquent par déficit de résistance à l'effort tranchant, les poutres seront donc renforcées vis-à-vis de l'effort tranchant par collage de matériaux composite à base de tissu de fibre de carbone.

IV.5.5 Cotation ou classification de l'ouvrage :

L'ouvrage situé sur la route wilaya CW 12 au point kilométrique 14+800, suivant le relevé de dégradation, est classé dans, la catégorie 2E c'est à dire : Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts ;

IV.5.6. Projet de réhabilitation et de renforcement :

IV.5.6.1. Travaux De Préparation

- Réalisation d'une déviation provisoire à l'endroit de l'ancien pont méthanique qu'il faudra
Dépose tablier,
Préparation plateforme du passage busé,
Fourniture et pose 4 buses Ø1500 de 8m de longueur,
Remblai en tout venant (1,50 m sur les buses) et les remblais d'accès,
Evacuation et remise en état du lit d'oued en fin de travaux.
- Scarification du revêtement jusqu'à atteindre l'hourdis.
- Vèrinage ligne d'appuis (course de 1m).
- Dépose des joints de chaussée.

IV.5.6.2. Travaux De Réparation :

- Sablage général de l'intrados du tablier (poutres + entretoises + hourdis + encorbellements des trottoirs + corniche) et des appuis (mur de front + mur en retour +
- Piquage et soufflage à l'air comprimé de surface de béton dégradé avec brossage énergique des aciers mis à nu (corniche + sommier des appuis + about des poutres + entretoises d'about Côté remblai)
- Réparation du béton dégradé avec mortier à base d'émulsion de résine, compris primaire d'accrochage sur toute épaisseur <5cm
- Injection des fissures à la résine (SIKADUR 52 ou équivalent).
- Protection des abouts des poutres latérales par du TFC sur une longueur de 1m.
- Mise en œuvre d'un complexe d'étanchéité.
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux (8cmd' épaisseur)..
- Remplacement des joint de chaussée par des joints couverts (double cornière 100x100x7+plat 150).
- Mise en œuvre des joints sous trottoirs en Polyuréthane.
- Sablage des garde-corps, application de deux couches de protection et une couche de finition.

IV.5.6.3. Travaux De Renforcement :

Renforcement des quatre (04) poutres du tablier par collage de matériau composite en tissu à base de fibre de carbone (SIKA WRAP HEX 230C ou équivalent) sur les lames des poutres sur une longueur de L/4 de part et d'autre des abouts pour renforcement vis-à-vis des efforts tranchants.

IV.5.7. Conclusion

Malgré les difficultés liées à la méthode Image de Qualité des Ouvrages d'Art ainsi que le manque de moyens, nous avons pu réaliser notre expertise vue que cette méthode est basée sur une inspection visuelle des dégradations. Cette inspection a fait appel à la pathologie des ouvrages d'art. On est arrivé grâce à cela, à classer nos trois ouvrages selon le principe de la méthode IQOA. Le résultat est comme suit :

Ouvrage d'art sur :

- RN 44 AU PK 83+410 Franchissement Voie Ferrée/RN44 : classe 2E
- Pont RN 44 rail PK00+800 : classe 2E
- Pont échangeur RN 44 PK 6+400. : classe 2E
- Pont CW 12 PK 14+800 : classe 2E

IV.6 Conclusions générales :

Vue que la notion de la structure parfaitement durable est une notion irréalisable, vue le déficit d'entretien et les processus de dégradation des ouvrages accélérés par plusieurs facteurs que on ne peut pas les maîtriser tous, nos ouvrages sont affectés par des dégradations menaçant leurs sécurités et leurs durées de la vie ; et afin d'augmenter ou tout simplement de tenir la durée de vie de l'ouvrage d'art des interventions dite 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 cette thèse a finalement nous a aidé à comprendre mieux le problème de maintenance et réparation des ouvrages d'art et spécialement les ponts pour le gestionnaire d'un parc des ouvrages, et nous a permis de sortir avec les conclusions suivantes :

Dans la partie bibliographie on a arrivé à :

1. identifier les causes de la dégradation et des pathologies des ouvrages; o identifier les moyens qui permettent de diagnostiquer les pathologies ;
2. identifier les solutions de réparation ou de renforcement les plus adaptées aux plans techniques et économiques.

Dans la deuxième partie aux conclusions suivantes :

Donc il est devenu urgent d'envisager à court terme une politique national d'entretien avec planification de budget substantiel pour préserver ce patrimoine. Les cas des ouvrages dégrader ou réparer peuvent constituer une orientation pour mieux concevoir la construction de nos ouvrages d'art en tenant compte toutes les éventualités.

Les perspectives à apporter à ce travail peuvent s'articuler autour des axes suivants :

Des études sur les matériaux et les techniques de réparation du point du vue faisabilité et durabilité.

Proposer des systèmes de gestion des ouvrages d'art dans les quelle on peut intégrer les différents types d'enjeux : humains, économiques, environnementaux, financiers, sociaux et politiques, etc.

Étudier profondément la problématique de la durabilité des ouvrages d'art en Algérie, d'un manieur permettant l'élaboration des facteurs influant cette durabilité à travers les différentes régions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [ACI 1993] ACI Comité 364. Guide for evaluation of concrete structure prior to rehabilitation. 1993.
- [AFPS 2003] Rapport préliminaires de la mission AFPS Organisée avec concours du Ministère de l'écologie et du développement durable. Mai 2003.
- [AHMED 2005] Ahmed Al Ostaz. Final report "Diagnostic evaluation and repair of deteriorated Concrete bridges" department of civil engineering, university of mississippi 2004.
- [ALEXANDER 2009] Alexander, M.B Otien. Concret repair, Rehabilitation and Retrofitting. London: Farnicis Group , 2009.
- [AMR 2005] Association Mondiale de la Route. Etude sur les actions de réhabilitation des ponts en béton. 2005.
- [BREYSSE 2005] Breysse D. Abraham O. Méthodologie évaluation non destructive de l'état d'altération Des Ouvrages En Béton. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 2005. ISBN : 2-85978-405-5, 2005.
- [BRUHWILER 2004] Bruhwiler E. Maintenance des ouvrages. cours EPFL . Suisse , 2004.
- [BULLETIN 1978] « Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chausses ». LES OUVRAGES D'ART, Ministère de l'environnement et cadre de vie -Ministère des transports, 1978.
- [CALGARO 1995] CALGARO J. A. & LACROIX R., 1995 «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.
- [CARMA 2006] CARMA. Glossaire des Matériaux composites. Octobre 2006.
- [COMMITTEE 2001] COMMITTEE, ACI. 2001. Protection of Metals in concrete Against Corrosion. Amerique Concrete Institue Materials , 2001.
- [DTP 2013] Expertise de pont échangeur sur RN 44 pk6+400 AFR Conseils Direction des travaux publics Wilaya Skikda. 2013.
- [DTP 2018] Etude d'expertise des ouvrages d'art sur RN 44 au pk00+800 BET la Direction des travaux publics Wilaya de Skikda. OCTOBRE 2018.
- [DTP 2018bis] Expertise du pont sur Oued Righa CW12 PK 14+800 AFR conseils. Direction des travaux publics Wilaya Skikda, Juin 2018.
- [DTP 2020] Etude d'expertise des ouvrages d'art sur RN 44 au pk83+410 BET la Direction des travaux publics Wilaya ANNABA 2020
- [FRANCOIS 1994] François, R., Arliguie, G., Maso, J.C., «Progrès Dans La Construction Par La Maitrise De La Fissuration Du Béton Hydraulique », 1994, Rapport de synthèse LMDC, France.
- [GUERROUT 2020] GUERROUT Khaled. Pathologie, Diagnostic et réparation des ponts à Skikda, Mémoire de Master, Université de Skikda, septembres 2020

[HAMLAOUI 2012] HAMLAOUI, SALIM. Maintenance, entretien et réparation des ponts. THESE MAGISTERE . BISKRA , Faculté des sciences et de la technologies hydraulique, université Mohamed Khider : s.n., 2012.

[JOHNSON 1969] JOHNSON, SIDNEY M. Dégradation, Entretien et réparation des ouvrages du génie civil : édition EYROLLES, 1969.

[JUN 2005] Jun, Won Song Seung. Precicing carbonation in early aged cracked concrete. 2005.

[KACI 2019] Kaci, Ouiza. Outils d'aide à la décision appliquée aux ouvrages d'art. Tizi Ouzou , Faculté du génie de la construction université Mouloud Maamri

[KADRI 1994] KADRI, Karima. Contribution à l'étude d'un Béton de sable avec Fibre et Résine. Gestion des ouvrages. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France : page n 593, 1994.

[LCPC 1975] Défauts apparents des ouvrages d'art en béton, 1975, Ministère de L'équipement Français, Service D'études Techniques Des Routes Et Autoroutes, Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussées, 1975.

[MARCOTTE 1999] MARCOTTE, T.D. The effect of the electrochemical chloride extraction treatment on steel reinforced Moratar. 1999 : concrete recherche 29.

[PARADIS 2009] Paradis, François. Influence de la fissuration du Béton sur la corrosion des armatures caractérisations des produits de Forme. Mars 2009.

[PERCGAT] Techniques de l'Ingénieur, traité Construction C 2 317 «Pathologie et réparation des ouvrages» par Jean PERCHAT.

[PLUMIER 2006] Plumier A. 2006. Pathologie et réparation structurelles des constructions Partie III ArGenco, 2006.

[ROCHDI 2004] Rochdi, Houssain. Contribution à l'analyse du comportement Mécanique de Dalles en Béton Armé Renforcées Par Matériaux Composites. Lyon, France : Université Claude Bernard, 2004.

[ROSSI 1998] Rossi. P. Les Bétons de fibres métalliques. : Presse de l'école nationale des ponts et chaussées. 1998.

[TELFORD 1997] Telford Tomas, Durable concrete structures Design Guide Published 1997.

[THIERY 2004] Thiery, M., Dangla, P. Modélisation du processus de carbonatation des matériaux cimentaires . Alger , Algerie : 1er congrès International sur la Technologies et la durabilité C.I.E.D.U.B, 2004.

[HOUARA 2003] Haouara, Selma. Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé dans la région Biskra. , Mémoire de Magistère Faculté des sciences, Université de Biskra 2003.

ANNEXE PHOTOS

**VI.2. OUVRAGE D'ART SUR RN 44 AU PK 83+410 -
FRANCHISSEMENT VOIE FERREE/RN44**

Figure A.1

**VUE GENERALE
AU DESSUS DE
L'OUVRAGE :**

Ouvrage situé dans
une zone
suburbaine



Figure A.2

**VUE GENERAL
DE L'OUVRAGE
RIVE COTE
ANNABA
(NUMEROTATIO
N DES TRAVEES
ET DES APPUIS):**

L'ouvrage franchit
la RN44 (route en
2x2 voies) et une
voie ferrée

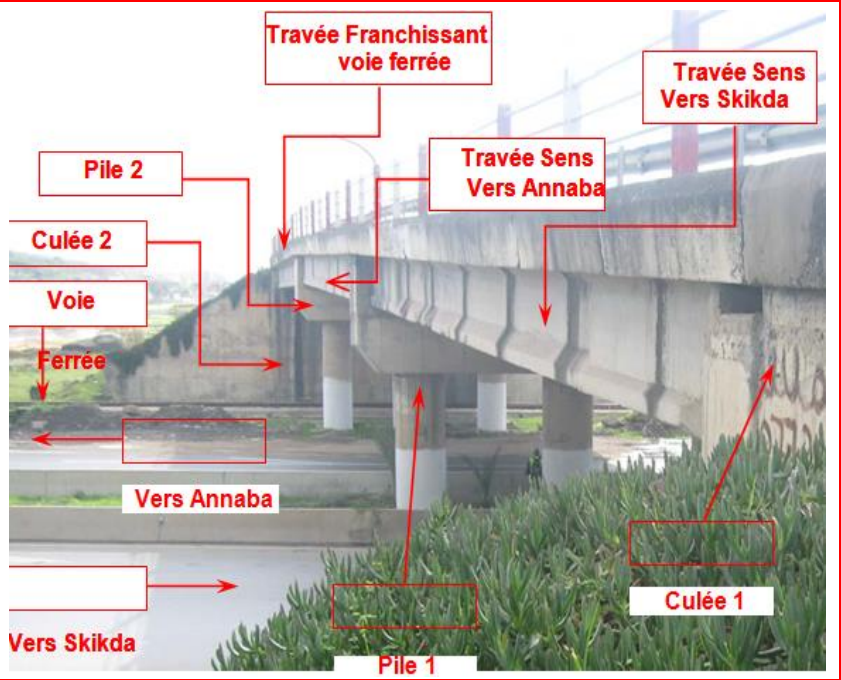


Figure A.3

**INTRADOS DU
TABLIER
TRAVEE
FRANCISSANT
LE SENS VERS
SKIKDA :**

Impacts de choc de
véhicule en sur-
gabarit sur les poutres
1,2 et 3 sens vers
Skikda.

1°/ Poutre 1 : Impacts
sur 2ml + 3ml.

2°/ Poutre 2 : Impact
localisé.

3°/ Poutre 3 : Impact
localisé.

4°/ Poutre 4 :
Poutre non touché.

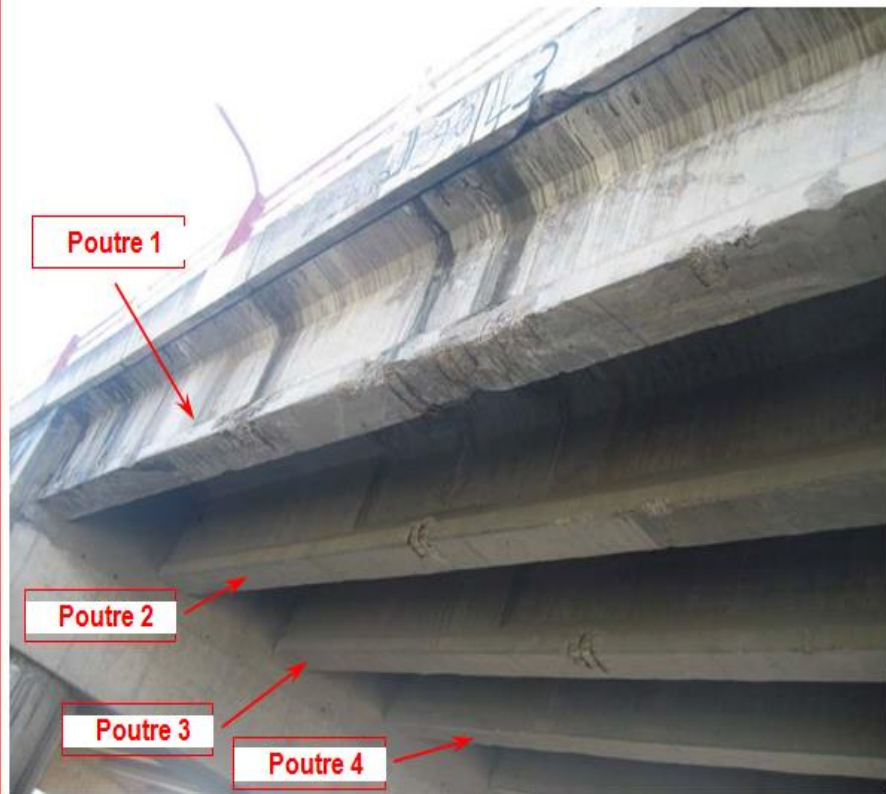


Figure A.4

**INTRADOS DU
TABLIER
TRAVEE
FRANCISSANT
LE SENS VERS
SKIKDA :**

Impacts de choc de
véhicule en sur-
gabarit sur les poutres
5, 6, 7 et 8 sens vers
Skikda.

1°/ Poutre 5 : Impact
localisé.

2°/ Poutre 6 : Impact
localisé.

3°/ Poutre 7 : Impact
localisé.

4°/ Poutre 8 :
Important impact à
mi-travée (c'est la
poutre la plus
touchée)

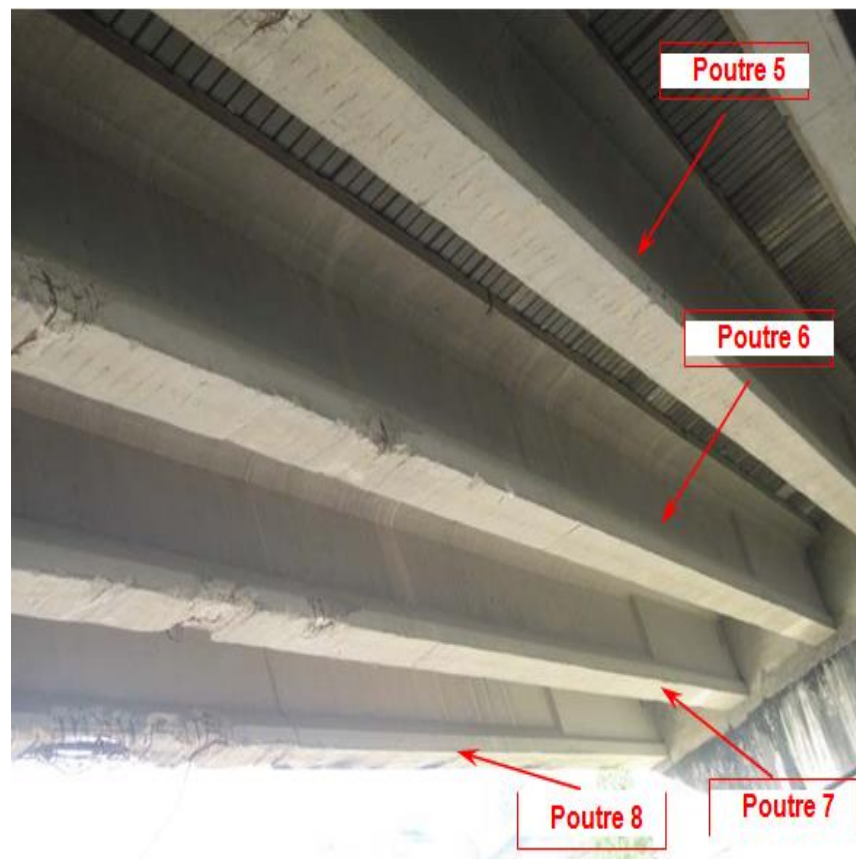


Figure A.5

**TALON POUTRE1 :
FRANCHISSANT
LES SENS VERS
SNIKDA :**

1/ éclatement avec
arrachement de béton
et apparition des
aciers (cadre)
corrodés.

2/ certains cadres sont
sélectionnés.



Figure A.6

**TALON POUTRE 2
TRAVEE
FRANCHISSANT
LE SENS VERS
SNIKDA :**

1°/ Eclatement de
béton avec apparition
des aciers (cadres)
corrodés et déformés.

2°/ Apparition de
fissures sur le talon
de la poutre dues au
choc de véhicule



Figure A.7

**TALON POUTRE 3 :
TRAVEE
FRANCHISSANT LE
SENS VERS SIKKDA :**

Arrachement de béton
avec apparition des
aciers (cadres)
corrodés et déformés.



Figure A.8

**TALON POUTRE 6 :
TRAVEE
FRANCHISSANT LE
SENS VERS SIKKDA :**

Arrachement de béton
avec apparition des
aciers (cadres)
corrodés et déformés



Figure A.9

**TALON POUTRE 7
TRAVÉE FRANCHISSANT
LE SENS VERS
SNIKDA:**

1°/ Arrachement de
béton avec apparition
des aciers (cadres)
corrodés et déformés.

2°/ On distingue au
moins 3 cadres
sectionnés



Figure A.10

**TALON POUTRE 8 :
TRAVÉE
FRANCHISSANT LE
SENS VERS SNIKDA
(LA POUTRE LA PLUS
TOUCHE) :**

1°/ Talon de la poutre
à mi- travée détruit sur
1.8ml,

2°/ Rupture de la gaine
de précontrainte du câble
inferieur,

3°/ Plusieurs
cadres sectionnés,

4°/ Multiples fissures
dans le béton.

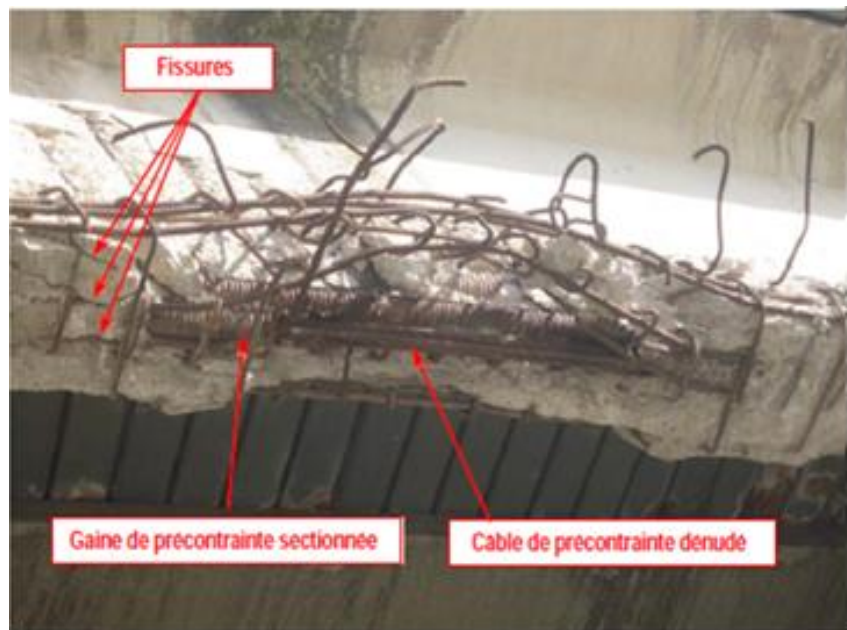


Figure A.11

**TRAVÉE SENS
VERS SKIKDA :**

1°/ Couloires noirâtres
des eaux sur le
parement extérieur de
la poutre de rive.

2°/ Défaut d'enrobage
(insuffisant) avec
apparition des aciers
du talon de la poutre
(cadres) en état de
corrosion.

Les eaux s'infiltrent
par les joints de
corniches.

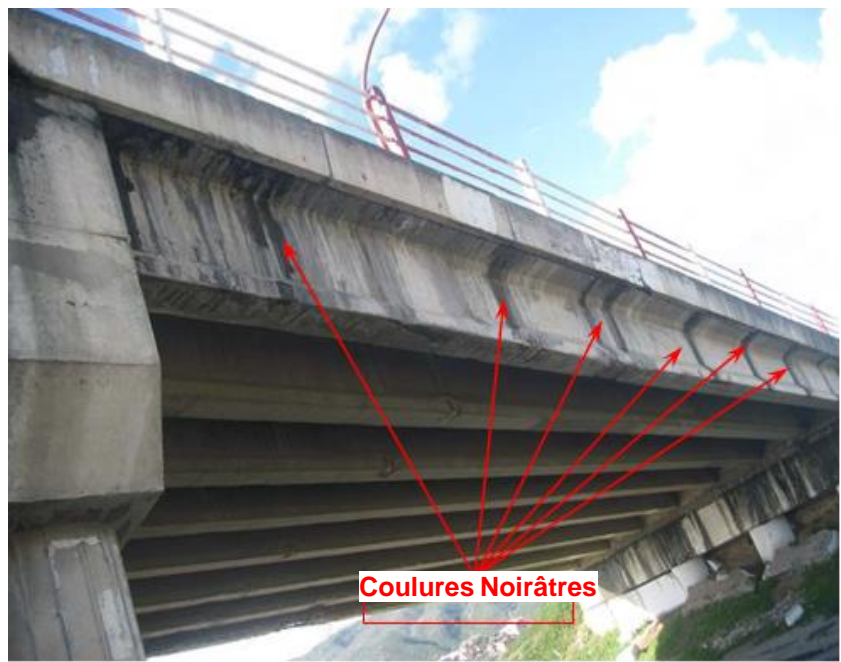


Figure A.12

**INTRADOS
TABLIER TRAVÉE
SUR VOIE
FERREE :**

Trace d'humidité
blanchâtre avec
corrosion de la TN40
qui constitue le
coffrage perdu de
l'hourdis.

cette dégradation peut-
être la conséquence
d'un défaut
d'étanchéité, qui est
mal réalisée à
l'origine

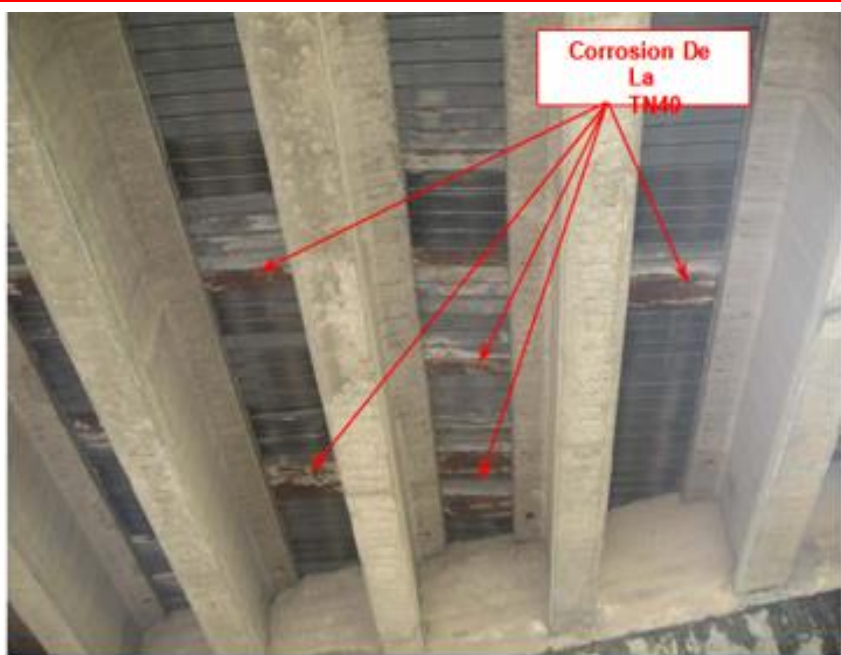


Figure A.13

**INTRADOS TABLIER
TRAVEE SUR VOIE
FERREE :**

1°/ Forte corrosion de la
TN40 au droit de
l'avaloir (défaut de
raccordement de
l'étanchéité au droit des
avaloirs).

2°/ Absence de descentes
d'eau.

3°/ Trace
d'écoulement des eaux
sur le parement de la
poutre

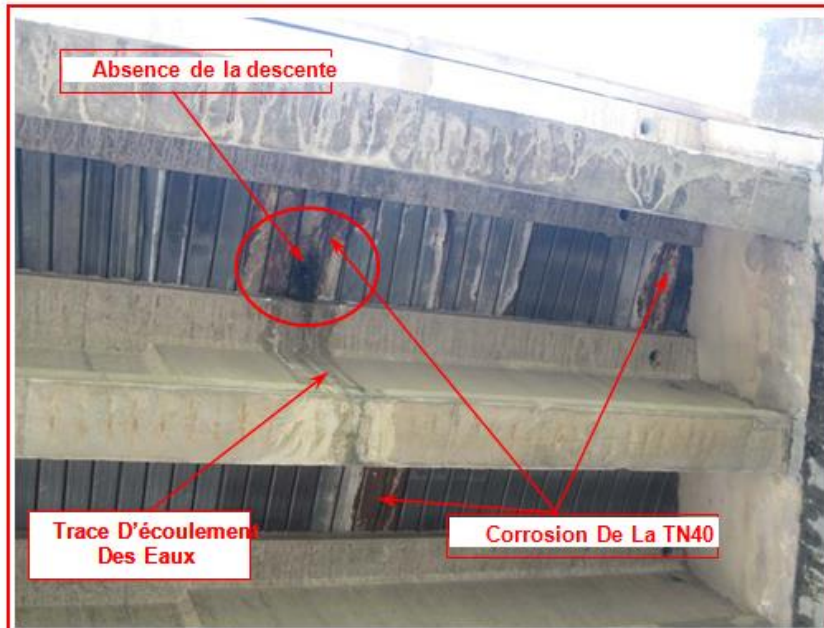


Figure A.14

CULEE 1 :

1°/ Ruissèlement des
eaux sur le chevêtre de
la culée (Défaillance du
système
d'étanchéité de joint de
chaussée et absence de
joint de trottoir).

2°/ Moisissure et traces
verdâtres (lichens) sur le
chevêtre de la culée.

3°/ Départ des remblais
sous le chevêtre de la
culée après rupture du
muret de soutènement



Figure A.15

CULE 1 :

1°/ Ruissèlement des eaux sur les murs en retour de la culée,

2°/ Eclatement du béton avec apparition des aciers en état de corrosion



Figure A.16

CULEE 2 :

1°/ Ruissèlement des eaux sur le mur frontal et les murs en ailes de la culée,

2°/ Moisissure et trace verdâtre sur le mur frontale de la culée signe que le défaut est assez ancien,



Figure A.17

**MUR EN AILE COTE
ANNABA DE LA
CULEE 2 :**

Petite zone
d'éclatement du béton
avec apparition des
aciers



Figure A.18

CHEVETRE PILE 1 :

1°/ Ruissèlement des
eaux sur le chevêtre la
pile,

2°/ Moisissure et trace
verdâtre sur le
chevêtre de la pile



Figure A.19

CHEVETRE PILE 1 :

Desenrobage des
aciers en état de
corrosion



Figure A.20

PILE 2 :

Chevêtre désaxé sur
les fûts de la pile
(défaut de réalisation)



Figure A.21

PILE 2 :
Eclatement du béton
en sous face du
chevêtre de la pile.



Figure A.22

**JOINT DE
TROTTOIR SUR
CULEE 2 :**
Absence de joint de
trottoir. Ouverture
irrégulière du joint



Figure A.23

CORNICHE :

Défaut de pose des éléments de corniche préfabriquées, le vide entre les éléments atteint 3cm.

Le défaut est à l'origine des dégradations observées au niveau des poutres de rive.



Figure A.24

**CHAUSSEE RIVE
COTE ANNABA :**

Stagnation des eaux sur la chaussée au droit de la pile 1, rive coté Annaba



Figure A.25

**JOINT DE CHAUSSEE
SUR CULEE COTE
« SUD » :**

1/ Point bas au droit
du joint de chaussée.

2/ Vide entre
l'extrémité du joint de
chaussée et la bordure
de trottoir,
favorisant l'infiltration
des eaux.



IV.3. Ouvrage d'art sur RN 44 PK 0+800

Figure A.26

travée de rive.



Figure A.27

Détail travée de rive

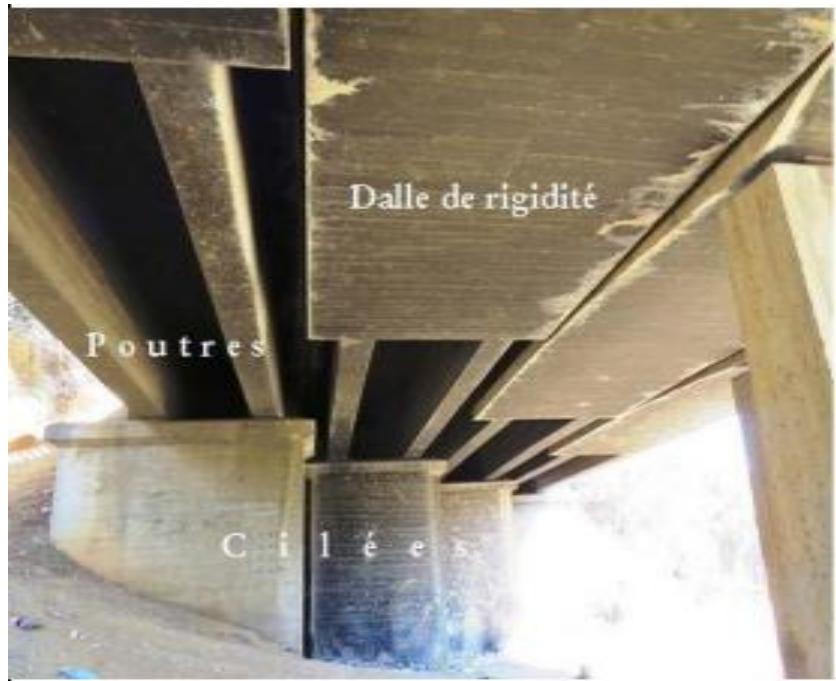


Figure A.28

**Poutre en console
sur sommier de
culée**



Figure A.29

Détérioration localisée du mur 1



Figure A.30

Détérioration localisé du béton



Figure A.31

**Fissure verticale en
pied de mur 2**



Figure A.32

**Epaufures en pied de
mur 3**



Figure A.33

Epaufures en pied de mur 3



Figure A.34

PILE2 Eclatement de béton av



Figure A.35

PILE2 Eclatement
de béton av



Figure A.36

Eclatement de béton
av avec armatures
corrodées.
CULEE VERS
SIKDA



Figure A.37

CULEE 4 vers
Constantine
Zoom éclatement de
béton av avec
armatures corrodées



Figure A.38

**CULEE 1
(Vers
SKIKDA)**
Eclatement de béton
av avec armatures
corrodées



Figure A.39

**CULEE 4 vers
Constantine**



Figure A.40

**Zoom CULEE 4
Constantine**



Figure A.41

**Traces de venues
d'eaux
(efflorescences)**



Figure A.42

**Eclatement de béton
avec armatures
corrodées**



Figure A.43

**Zoom sur éclatement
de béton avec
armatures corrodées**



Figure A.44

**Dalle de rigidité
Eclatement de béton
avec armatures
corrodées**



Figure A.45

**Dalle de rigidité
Zoom sur éclatement
de béton avec
armatures corrodées**



Figure A.46

**Poutre de rive
Armatures corrodées**



Figure A.47

**Poutre de rive Zoom
sur armatures
corrodées**



Figure A.48

**Dalle de rigidité
Eclatement de béton
avec armatures
corrodées**



Figure A.49

Dalle de rigidité Zoom
sur éclatement de
béton avec armatures
corrodées.



Figure A.50

**Encorbellement de
trottoir
Efflorescences**



Figure A.51

**Encorbellement de trottoir
Efflorescences.**



Figure A.52

**Encorbellement de trottoir et joints
Végétation nuisible**



Figure A.53

**Encorbellement de trottoir et joints
Végétation nuisible**



Figure A.54

**MURS CACHES
Dégradation**



Figure A.55

**APPAREILS
D'PPUIS
Corrosion**



Figure A.56

**Joints de trottoirs
absence de couvre
joint.**



Figure A.57

**Joints de trottoirs
absence de couvre
joint.**



IV.4. Pont mixte RN 44 PK6 +400

Figure A.58

**Poutres de rive coté
Annaba**

Poutre P1
endommagée
(Déversement localisé
de la semelle
inferieure de la poutre)

Cause :
Choc de véhicule en
sur-gabarit



Figure A.59

**Poutres de rive coté
Skikda**

Début de corrosion
des poutres et des
entretoises.



Figure A.60

**Détachement de
l'entretoise de la
poutre:**

Cause :
Choc de véhicule en
sur-gabarit



Figure A.61

choc sur l'entretoise.

Cause :
Choc de véhicule en
sur-gabarit



Figure A.62

Culée coté Annaba

Trace d'humidité et
d'écoulement des eaux sur
le voile de la pile avec
naissance de végétation.

Cause :
Infiltration et suintement
des eaux par les
joints de chaussées et des
trottoirs



Figure A.63

Pile Centrale.

Trace d'humidité et d'infiltration des eaux avec fissuration d'écaillage du béton au niveau du chevêtre de la pile.

Cause :
Infiltration et suintement des eaux par les joints de chaussées et des trottoirs entraînant corrosion et gonflement des armatures



Figure A.64

Culée coté Filfila

Trace d'humidité et d'écoulement des eaux sur le mur frontal des culées.

Cause :
Infiltration et suintement des eaux par les joints de chaussées et des trottoirs



Figure A.65

Culée rive gauche:
système d'évacuation
des eaux défectueux
(rupture d'une partie
du
collecteur des eaux).



Figure A.66

Trottoir coté Skikda
Dégradation de grande
partie des dalles de
trottoir.



Figure A.67

Trottoir coté Skikda

Absence de joint de trottoir .



IV.5. Pont Sur Oued Righa Cw 12 Pk 14+800

Figure A.68

**Vue générale Pont Sur
Oued Righa Cw 12 Pk
14+800.**



Figure A.69

Culée rive droite coté aval :

Efflorescences avec éclatement de béton et corrosion des armatures sur l'intrados de l'encorbellement au niveau des joints sur appuis.

Cause :
Suintement et infiltrations des eaux provenant des joints .



Figure A.70

Culée rive gauche coté amont :

Eclatements de béton avec dénudement et corrosion des armatures sur l'intrados de l'encorbellement au niveau des joints sur appuis.

Cause :
Suintement et infiltrations des eaux provenant des joints



B. Poutres :

Figure A.71

**Poutre
intermédiaire coté
aval:**

fissure transversal à
mi travée au niveau
du talon qui se
prolonge
verticalement sur
l'âme de la poutre.

[L'ensemble des
poutres présentent ce
type de fissure]

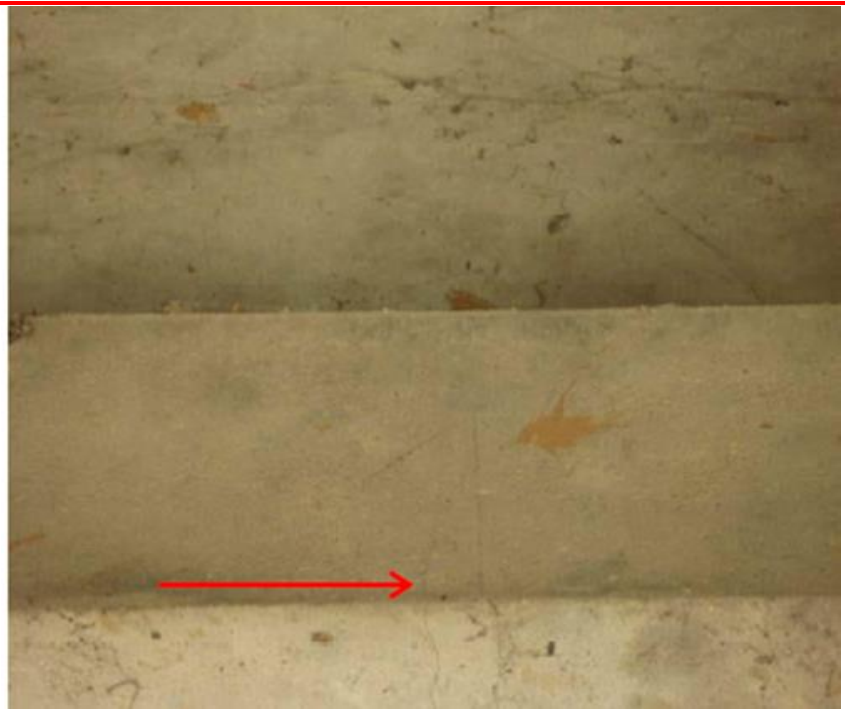


Figure A.72

**Vue de flanc de l'âme
de la poutre de rive
coté aval**

Fissure oblique d'un
angle de 45° sur zone
d'appui appui.

[L'ensemble des poutres
présentent ce type de
fissure]



Figure A.73

Culée rive droite coté amont:

Efflorescences, humidité et suintements ; éclatement de béton avec dénudement et corrosion armatures au niveau des appuis.

[L'ensemble des poutres présentent ce type de dégradations]



Figure A.74

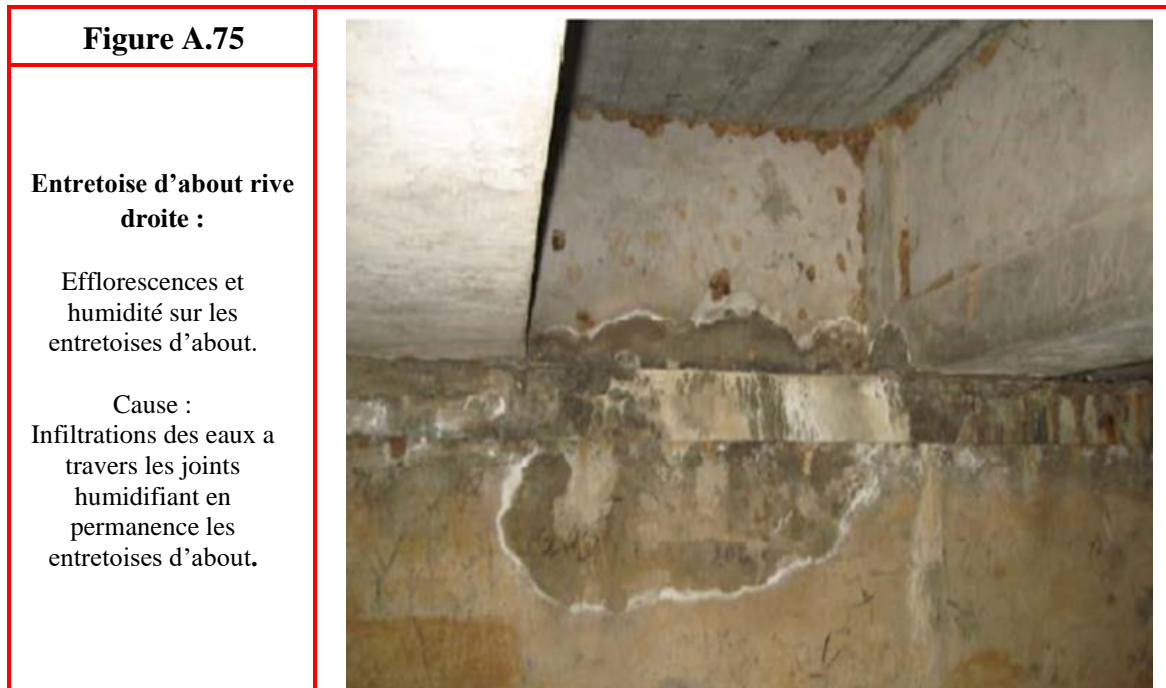
Entretoise d'about rive Droite:

fissure vertical en zone d'encastrement avec les poutres.

[L'ensemble des entretoises intermédiaires présentent ce type de fissure]



C. Entretoise :



4.17. 2.Appuis:

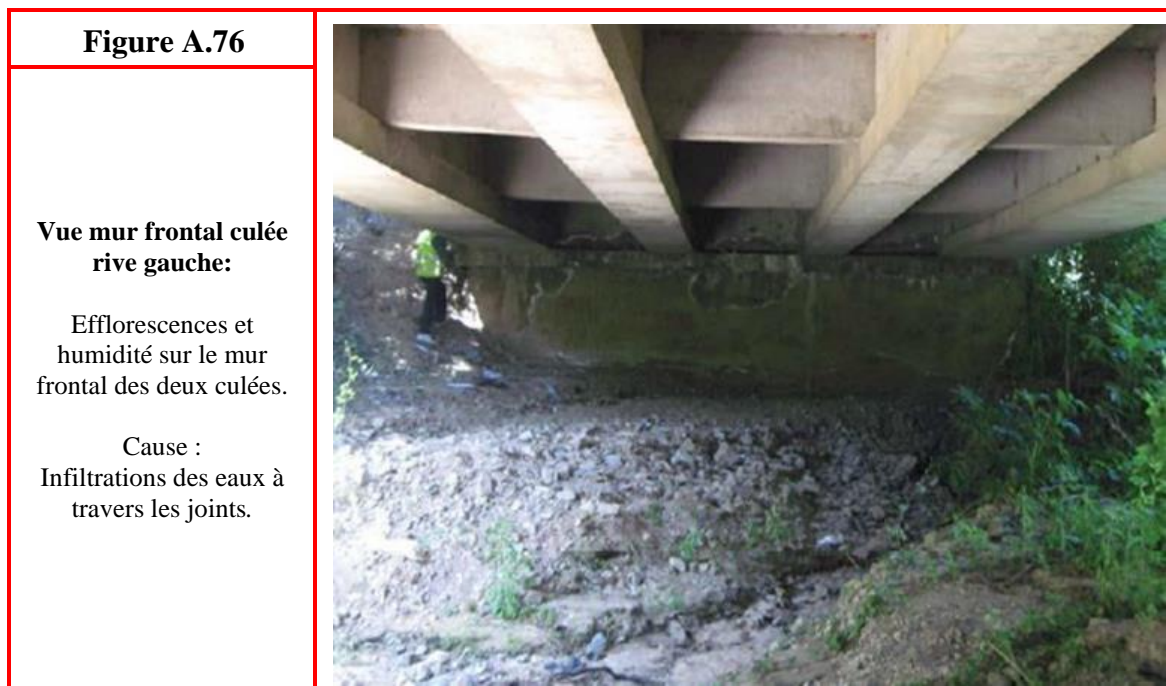


Figure A.77

**Vue corniche chevêtre
culée rive gauche:**

Efflorescences,
humidité et éclatement
de béton avec
dénudement et corrosion
des armatures au niveau
du chevêtre des appuis.

Cause :
Infiltrations des eaux a
travers les joints
humidifiant en
permanence le sommier
et la corniche des
culées.



4.17. 3.Equipements :

Figure A.78

Vue en plan du pont :

Hauteur insuffisante des
trottoirs.

Cause :
Revêtement de chaussée
excessif sur tablier.
[Augmentation des
charges permanente et
possibilité pour les
véhicules de rouler sur
les trottoirs]



Figure A.79

**Coté aval de
l'ouvrage :**

Corrosion superficielle
des garde-corps.

