

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : génie civil et hydraulique
Réf :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المدنية والري
المرجع:

Mémoire présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magistère
Spécialité : génie civil

Option : modélisation des matériaux et structures

Maintenance, entretien et réparation des ponts

Présentée par :
Hamlaoui Salim

Soutenue publiquement le : **09/12/2012**

Devant le jury composé de :

Mr	M. MELLAS	Professeur	Président	Université de	BISKRA
Mr	A. GUETTALA	Professeur	Rapporteur	Université de	BISKRA
Mr	R. CHEBILI	Professeur	Examineur	Université de	BISKRA
Mr	B. MEZGHICHE	MC	Examineur	Université de	BISKRA

Remerciement

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

*Je remercie tout d'abord le Professeur **GUETTALA A.** de m'avoir proposé ce sujet de thèse, de l'attention qu'il a portée à mon travail. Je le remercie pour ses conseils qui ont Contribué à l'élaboration de ce travail.*

*Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à Monsieur **MELLAS M.**, Professeur à l'université de Biskra pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.*

*Tous mes remerciements et ma reconnaissance envers Monsieur **CHEBILIR**, Professeur au département de génie civil à l'université Biskra, qui a consacré et sacrifier une partie de son temps pour ses conseils et directives précieuses.*

*Je tiens également à remercier vivement, Monsieur **MEZGHICHEB.**, Maître de Conférences au Département de Génie Civil à l'université de Biskra, pour ses encouragements, et d'avoir accepté d'examiner cette présente thèse.*

*Mes sincères remerciements sont aussi adressés à tous le personnel de la direction des travaux public (**DTP**) de la wilaya d'Oum El Bouaghi, à mes collègues d'étude pour leur encouragement, leur aide et l'ambiance Agréable qu'ils m'ont donné de bonne foi et avec joie.*

Enfin, toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes très vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin et en particulier l'ensemble des enseignants du département de génie civil de Biskra, à ma formation d'études de la graduation et de la post graduation.

Résumé

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 apparaît 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; de présenter le parc national des ouvrages d'arts afin de l'identifier, le recenser et bien sûr établir une liste des défauts et des causes les plus fréquemment rencontrés dans notre pays ; de chercher les problèmes et les insuffisances enregistrés dans la politique de gestion des ouvrages. 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:

Nowadays, the study of rehabilitation actions works of reinforced concrete bridges, has become among the most important subject; which cannot be neglected especially in their management. This importance influenced by the susceptibility of such works to deterioration by several pathologies, circumstances, and also the advantage of maintenance cost in comparison with construction activities, since reconstruction works for bridges are usually less than rebuilding them. This should makes the deep knowledge about damages and their causes and how to make a correct diagnostics to them as a necessity

From one side the development and the diversity in technical works and from the other one the absence of taking into consideration the problem of durability of structures, and also a strict clear policy in management of bridges in our country. This has led us to propose this study, which we seek through it to put a scheme of repairing operation starting with knowing the damages till the operation and techniques of maintenance then we finish in listing the causes behind the damaging of works we usually face and study the policy adopted in our country to direct works in a critical way that makes us familiar with its drawbacks to get at the and some instructions which help us preserving our constructions.

Keywords: Bridge, reinforced concrete, pathology, monitoring, servicing, diagnostics, Degradation, Repair.

ملخص:

في وقتنا الحاضر أصبحت دراسة عمليات تصليح الجسور الخرسانية من المواضيع الأساسية التي لا يمكن التخلي عنها خاصة في مجال تسييرها، هذه الأهمية المدعمة بقابلية المنشآت على التضرر بعوامل مختلفة و كذا الأفضلية التي تبديها كلفة التصليح بالنسبة لعمليات البناء، حيث أن أسعار تصليح الجسور عادة ما تكون اقل من إعادة بنائها، مما جعل من تعميق المعارف حول الأضرار و أسبابها و طرق الكشف عنها أمرا ضروريا .

إن التطور و التنوع الحاصل في حظيرة المنشآت الفنية من جهة و غياب الأخذ بعين الاعتبار مشكلة ديمومة المنشآت وكذا سياسة حقيقية واضحة في عملية تسييرها في بلادنا من جهة أخرى، قادتنا إلى اقتراح هذه الدراسة والتي نهدف من خلالها إلى بناء صورة واضحة عن عمليات التصليح انطلاقا من فهم الأضرار وصولا إلى عمليات و تقنيات التصليح، حتى نصل في النهاية إلى حصر أسباب تضرر المنشآت التي عادة ما نواجهها وكذا دراسة السياسة المنتهجة في بلادنا لتسيير المنشآت بطريقة نقدية تمكننا من استخلاص نقائصها للوصول في النهاية إلى بعض التوجيهات التي قد تساعدنا في الحفاظ على منشآتنا مع الأخذ في الحسبان كل الاعتبارات.

الكلمات المفتاحية: جسر، خرسانة مسلحة، مرض، مراقبة، صيانة، التشخيص، اضرار، تصليح

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
I:Pathologies des ouvrages d'art causes et désordres	6
I.1 INTRODUCTION	6
I.2 GENERALITE SUR LES PONTS	6
I.2.1 Définition	6
I.2.2 Classification des Ponts	6
I.2.2.1 Intérêt de la classification	6
I.2.2.2 Classification	7
a) <i>La nature de la voie portée</i>	7
b) <i>La géométrie</i>	7
c) <i>La nature du matériau utilisé</i>	7
d) <i>Leur fonctionnement</i>	7
I.3 ACTION ET PATHOLOGIE AGISSANTS SUR LES PONTS	9
I.3.1 Action des eaux	9
I.3.1.1 Action de l'eau de mer	9
I.3.1.2 Action mécanique de l'eau	10
I.3.1.2.1 Les Affouillements	10
I.3.2 Action des acides	11
I.3.3 L'attaque sulfatique	12
I.3.3 .1 Présentation	12
I.3.3 .2 L'origine des Sulfates	13
a) <i>Origines Internes</i>	13
b) <i>Les Origines Extérieures</i>	13
I.3.3 .3 Les produitsrésultant de l'attaque	13
I.3.3 .4 Les conséquences des réactions Sulfatiques	14
a) <i>Les modifications chimiques</i>	14
b) <i>Les modifications physiques</i>	14
I.3.4 L'alcali-Réaction	15
I.3.4.1 Définition	15
I.3.4.2 Les différents types desréactions	16
a) <i>Alcali-silice réaction (ASR) (la plus fréquente)</i>	16
b) <i>Réaction alcali-silicate</i>	16
c) <i>Réaction alcali-carbonate</i>	16
I.3.4.3 Typologie des désordres	17
I.3.5 Attaque des Chlorurées	19
I.3.5.1 Mouvement de Chlorure dans le Béton	19

I.3.5.2	Seuil d’amorçage de la corrosion due par les Chlorures	20
I.3.5.3	Les conséquences de l’attaque des Chlorures	20
I.3.6	Carbonatation	21
I.3.6.1	Les mécanismes de la carbonatation	22
I.3.6.2	Les facteurs influents sur la carbonatation	23
I.3.6.3	Conséquences de la carbonatation	24
a)	<i>Béton</i>	24
b)	<i>Armatures</i>	24
I.3.7	La Corrosion	25
I.3.7.1	Le mécanisme de la corrosion	25
I.3.7.2	Les phases de dégradation	26
I.3.7.3	Facteurs influents la corrosion ;	28
I.3.7.4	Cas des ouvrages en béton précontraint	29
I.3.7.5	Désordres dus par la corrosion	31
I.3.8	Le Choc	32
I.3.9	Action sismique	32
I.3.9.1	Les dommages induits par le séisme directement	34
I.3.9.2	Les effets indirects	34
I.3.10	La fatigue	35
I.3.11	Le retrait du béton	35
I.3.11.1	Les causes du retrait	35
I.3.11.2	Les conséquences du retrait	36
I.3.12	Effet de gel dégel	36
I.3.13	Défauts d’exécution	38
I.3.14	Défauts de chaussées	40
I.4	LES DEGRADATIONS	42
I.4.1	La Fissuration	42
I.4.1.1	Définition	42
I.4.1.2	Mécanismes de formation des fissures	42
a)	<i>Fissuration gouvernée par des contraintes de traction</i>	42
b)	<i>Fissuration gouvernée par des contraintes de compression</i>	42
I.4.1.3	Les caractéristiques des fissures	42
I.4.1.4	Les différentes causes de fissuration	44
I.4.1.5	Classification des fissures selon morphologie	46
I.4.2	Autres dégradations	47
a)	<i>Efflorescence</i>	47
b)	<i>Les épaufrures</i>	47

c) <i>L'écaillage</i>	48
d) <i>Délamination</i>	48
e) <i>Défauts de construction</i>	49
f) <i>Eclatement localise</i>	49
g) <i>La ségrégation</i>	50
h) <i>La désintégration</i>	50
I.5 CONCLUSION	51
II: Méthodes de diagnostic et investigation	53
II.1 INTRODUCTION	53
II.2 Pourquoi un diagnostic	53
II.3 Les données nécessaires pour la surveillance d'un ouvrage	54
II.3.1 Les données de recensement	54
II.3.2 Les données d'évaluation	54
II.3.3 Les données décrivant le niveau de service rendu	54
II.4 Différents types de surveillance	55
II.4.1 Inspection visuelle	55
II.4.1.1 Définition	55
II.4.1.2 La Procédure IQOA, 1995	55
II.4.1.3 La Référence ACI, 1993	56
II.4.1.4 Outils et équipement pour l'inspection visuelle	57
II.4.1.5 Buts de l'inspection visuelle	58
II.4.2 Inspections détaillée	58
II.4.2.1 Une visite annuelle	59
II.4.2.2 Une auscultation approfondie	59
II.4.2.3 Une surveillance renforcée	59
II.4.2.4 Une haute surveillance	59
II.4.2.5 Inspection des dommages	59
II.4.2.6 Inspection détaillée particulières	60
II.4.3 Procédures d'inspection des parties du pont	60
II.4.4 L'auscultation du pont	61
II.4.4.1 Les Méthodes d'auscultation du béton	61
a) <i>Méthodes électriques</i>	61
b) <i>Les Méthodes optiques</i>	62
c) <i>Les Méthodes radiographiques</i>	62
d) <i>Émission acoustique</i>	62
II.4.4.2 La pertinence de l'utilisation d'une méthode d'END	64

II.4.5	Choix des méthodes d'essai	65
II.4.6	Couplage des essais	66
II.4.6.1	Définition	66
II.4.6.1	Objectif	66
II.4.7	L'interprétation	70
II.4.8	L'évaluation	70
II.4.8.1	Dimensions et géométries	70
II.4.8.2	Evaluation des matériaux	70
II.4.8.3	Evaluation structurale	71
II.4.8.4	Evaluation de la cause	72
II.4.8.5	Evaluation des couts	73
II.5	CONCLUSION	73
CHAPITRE III : Matériaux et méthodes de réparations		
III.1	INTRODUCTION	75
III.2	Pourquoi la réparation	75
III.3	Différents types d'entretien	76
III.4	Choix des méthodes et matériaux de réparations	77
III.4.1	Critères de choix des méthodes de réparation	78
III.4.2	Les Matériaux de réparation	78
III.4.2.1	Bétons conventionnels	78
III.4.2.2	Les latex	79
a)	<i>Les mortiers latex</i>	79
b)	<i>Résine époxy</i>	79
III.4.2.3	Les matériaux composites	80
III.4.2.3.1	Définition	80
III.4.2.3.2	Les Charge	80
III.4.2.3.3	Les matériaux de renfort	81
III.4.2.3.4	La Matrice	81
III.4.3	Les méthodes de réparation	81
III.4.3.1	Remplacement du béton altérer	81
III.4.3.2	Adjonction d'armatures complémentaires	82
III.4.3.3	Renforcements et réparation par matériaux de composite	83
III.4.3.3.1	Mise en œuvre par enroulement filamenteuse	83
III.4.3.3.2	Mise en œuvre par stratification directe de tissus sec	84
III.4.3.3.3	Le collage de plaques composites	85
III.4.3.4	Le renforcement au moyen des profilsmétalliques	86
III.4.3.5	Béton projeté	87

a) <i>Procédé par voie humide</i>	87
b) <i>Procédé par voie sèche</i>	88
III.4.3.6 La précontrainte additionnelle	89
III.5 Les traitements des ouvrages	90
III.5.1 Ré-alkalinisation du béton Carbonate	90
III.5.2 Extraction électrochimique des ions Chlores	90
III.5.3 La Protection cathodique	91
III.6 Exemples internationales sur les actions de réhabilitations des Ponts	93
III.7 CONCLUSION	94
VI : Maintenance et réparation des ouvrages d'art, cas de l'Algérie	97
VI.1 INTRODUCTION	97
Partie 1 : Présentation du parc des ouvrages d'art en Algérie	98
VI.1.1 Présentation de l'Algérie	98
VI.1.1.1 Géographie et climat	98
VI.1.1.2 La consistance du réseau routier en Algérie	99
VI.1.2 La Grande activité constructrice entre 1994-2008	100
VI.1.3 Le Patrimoine des ouvrages d'art	101
VI.1.3.1 Réparations des ponts par type de matériaux de superstructures	101
VI.1.3.2 Récapitulatif des causes des pathologies courantes	103
VI.1.3.3 Réparation des ponts par type de matériaux et type d'infrastructures	104
VI.1.3.4 Age du parc des ouvrages d'art	105
VI.1.3.5 L'état des ouvrages d'art	106
VI.1.4 Budget d'entretien des ouvrages d'art exercice 2006-2011	107
Partie 2 : Etude de cas, 50 ouvrages en état pathologique	110
VI.2.1 Exemple pratique	110
VI.2.1.1 Classification des ouvrages.....	110
VI.2.2 Causes générales des Désordres	111
VI.2.3 Désordres et causes dans les fondations des ouvrages	112
VI.2.3.1 Type de désordres enregistrés sur les ouvrages	112
VI.2.3.2 Causes probables des désordres	114
a) <i>Les insuffisances d'origine</i>	114
b) <i>Causes naturelles</i>	115
c) <i>Les interventions humaines</i>	115
d) <i>Les défauts de réparation</i>	116
VI.2.4 Infrastructure	116
VI.2.4.1 Nature des désordres constatés	116

VI.2.4.2 Causes des désordres	116
VI.2.4.2.1 Altération de maçonnerie et béton	117
a) <i>Maçonnerie</i>	117
b) <i>Béton</i>	117
VI.2.4.2.2 Absence ou insuffisance du système de drainage des eaux	118
VI.2.4.2.3 Présence de végétations nuisibles	118
VI.2.5 Superstructure	119
VI.2.5.1 Nature des désordres	119
VI.2.5.2 Causes des désordres	120
VI.2.5 Accessoires des ouvrages	121
VI.2.5.1 Appareils d'appuis	121
VI.2.5.2 Système d'évacuation des eaux	122
VI.2.5.3 Joints de chaussée	123
VI.2.5.4 Garde-corps et glissières de sécurité	124
VI.2.6 CONCLUSION DE SYNTHESE	124
Partie 3 : Les défiances observées dans la gestion des ouvrages d'art en Algérie	
VI.3.1 Les défaillances observées dans la gestion des ouvrages d'art en Algérie	126
VI.3.1.1 Coté expertise	126
VI.3.1.2 Autres défaillances	129
VI.3.2 Proposition et Recommandations	130
VI.3.2.1 La proposition de la fiche d'identification et inspection de l'ouvrage	130
VI.3.2.2 Les différentes étapes à suivre pour réaliser le projet de réparation d'un pont	131
VI.3.2.3 Recommandations	133
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	134
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	136
Annexes	
A: Lexique des parties d'ouvrages.....	141
B: Etat des ouvrages par wilaya	145
C: Liste des 50 ouvrages étudiés dans l'expertise.....	148
D : Conclusion d'une expertise élaborée par le CTC Mila.....	150
E: Les différentes dégradations de l'ouvrage.....	151
F: La Proposition De La Fiche D'identification.....	153
G: La proposition de la fiche D'inspection	155

LISTE DES TABLEAUX

Tab I.1 :L'influence des alcali-réactions sur la résistance du béton.	18
Tab I.2 :Causes et effets de la corrosion des aciers de précontrainte.	30
Tab I.3 :Les différents types des défauts de chaussée et les causes probables de leurs apparitions	40
Tab I.4 : Causes des différentes sortes de fissurations et les précautions pour les éviter	45
Tab I.5 :Principaux symptômes des dégradations du béton	50
TabII.1 :Extrait de la classification des défauts des poutres pour les ponts a poutres sous chaussées en béton arme selon la méthodologies I.Q.O.A	56
Tab II.2 :inspection visuelle – classification simplifiée des dommages	57
Tab II.3 :Exemplesdes essais de contrôle de l'état des matériaux	63
Tab II.4 : La pertinence de l'utilisation d'une méthode d'END.	64
Tab II.5 : Couplage des Essais pour l'évaluation des propriétés du béton	67
Tab II.6 : Couplage des essais pour l'évaluation des conditions physiques du béton	68
Tab II.7 : Couplage des essais pour l'évaluationdes propriétés de l'acier d'armature	69
Tab III.1 : Caractéristiques des fibres de renfort	81
Tab III.2 : Exemples internationales sur les Actions de réhabilitation des ponts.	93
Tab IV.1 : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) des différentes régions d'Algérie,	99
Tab IV.2 : La Consistance de réseau routier en Algérie.	99
Tab IV.3 : Tableau indiciel pour les défauts et les causes les plus fréquemment rencontrées	125

Liste des figures

Figure I.1 : Représentation schématique d'un cylindre en béton armé exposés d'eau de mer.	10
Figure I.2 : Phénomène d'affouillement au pied d'une pile de pont ((www.enseiht.fr)).	11
Figure I.3 : Mécanisme des attaques par les acides	12
Figure I.4 : Exemples des structures attaquées par les sulfates.	14
Figure 05: Exemples des dommages occasionnés par RAG.	18
Figure I.6: Mécanisme de la corrosion électrochimique en présence des chlorures.	21
Figure I.7 : Pique profonde causée par une attaque de chlorure.	21
Figure I.8 : mécanisme de carbonatation de Ca(OH)_2 .	22
Figure I.9 : effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO_2 pour différents rapports C/E.	24
Figure I.10 : Le Mécanisme De La Corrosion.	26
Figure I.11 : Volume relatif des produits d'oxydation du fer.	27
Figure I.12 : Les phases de la corrosion.	27
Figure I.13 : Type de fissures provoquées par la corrosion de l'armature.	31
Figure I.14 : Les différentes dégradations causent par le choc.	32
Figure I.15 : Carte de zonage sismique de l'Algérie.	33
Figure I.16 : Exemples des dommages induits par le séisme.	34
Figure I.17 : Photo réaliser par le MEB d'une fissure interne causé par Gel-Dégel.	37
Figure 18 : Quelques exemples des défauts d'exécution.	38
Figure I.19 : Temps d'apparition de fissures à partir mise en place de béton.	43
Figure I.20 : les différentes causes de fissuration.	44
Figure I.21: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage.	44
Figure I.22: Classification Des Fissures Selon Morphologie.	46
Figure I.23: Efflorescence.	47
Figure I.24: Les épaufrures.	47
Figure I.25: Delamination.	48
Figure I.26: Défauts de mal exécutions des travaux.	49

Figure I.27: Eclatement localisé.	49
Figure I.28: Ségrégations.	50
Figure II.1: Le GALVAPULSE de la Société Germann-Instrument.	61
Figure II.2: Principe de la radiographie.	62
Figure III.1: Courbes de dégradation d'une structure.	76
Figure III.2: Armatures supplémentaires en engravure (celle-ci pouvant être en sous-face).	83
Figure III.3: Armatures supplémentaires en surépaisseur de poutre.	83
Figure III.4: Les principes de l'enroulement a) principe de l'enroulement filamenteux, b) enroulement automatisé.	84
Figure III.5: Mise En Œuvre Par Stratification Directe.	85
Figure III.6: PROCEDE PAR COLLAGE DE PLAQUES (SIKA, 1996).	86
Figure III.7: Renforcement De Poteaux Au Moyen De Profiles Métallique.	87
Figure III.8: Projection Par Voie Humide.	87
Figure III.9: Projection Par Voie Sèche.	88
Figure III.10: Traces Rectiligne.	89
Figure III.11: Traces Polygonal.	89
Figure III.12: Illustration Du Processus Electrochimique De Relatinisation.	90
Figure III.13: Schéma D'application D'un Traitement d'ECE.	91
Figure IV.1: La Grande Activité Constructrice Entre 1993-2008.	100
Figure IV.2: Répartition des ponts routiers par type de matériaux de superstructure.	102
Figure IV.3: Répartition des ouvrages par type des fondations.	104
Figure IV.4: Répartition des ouvrages par type de matériaux des fondations.	104
Figure IV.5: Age du parc des ouvrages d'art.	105
Figure IV.6: Distribution des ouvrages selon leurs états sur RN, CW, CC.	107
Figure IV.7: Nombre des ouvrages réparés durent la période 2006-2011	109
Figure IV.8: Budget alloué a l'entretien des ouvrages durent la période 2006-2011.	109
Figure IV.9: Répartition selon la nature des fondations (Superficielle, Profonde).	110
Figure IV.10: Répartition par localisation (RN, CW).	110

FigureIV.11: Répartition par tranche d'âge.	111
Figure IV.12: Répartition par type d'ouvrage (Béton, métallique, maçonnerie, mixte, ...).	111
Figure IV.13: Exemples Des ouvrages présentant d'affouillements.	114
Figure IV.14: Exemples Des ouvrages Présence de végétations nuisibles.	118
Figure IV.15: Exemples Des Désordres structuraux.	119
Figure IV.16: Exemple des ouvrages présentant la Corrosion des éléments métalliques.	120
Figure IV.17: Insuffisances dues au non-respect des règles d'exécution.	121
Figure IV.18: Défaut présente aux niveaux des appareils d'appuis.	122
Figure IV.19: défaillances observées aux niveaux des systèmes d'évacuation des eaux :	122
Figure IV.20: Défaut présente aux niveaux des joints de chaussée.	123
Figure IV.21: Défaut présente aux niveaux des garde-corps et glissières de sécurité.	124
Figure IV.22: Les défauts et les causes les plus fréquemment rencontrées à travers 50 ouvrages d'art.	125
Figure IV.23: Illustration de l'ancien ouvrage et les dégradations de notre ouvrage	128
Figure III.24: Organigramme Montre Les Différents Etapes A Suivre Pour Réaliser Le Projet De Réparation Ou Renforcement D'un Ouvrage.	132

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie comme la plupart des pays en développement dispose d'une infrastructure de transport relativement jeune en comparaison aux pays développés. Le réseau routier Algérien comporte environ 5000 ponts, dont la construction et la nature de certains lui confèrent une valeur historique et technique inestimables. Certains ouvrages demeurent en excellent état après plus d'un siècle d'exposition à des conditions climatiques particulièrement rigoureuses, alors que d'autres ouvrages récents présentent une détérioration importante.

La plupart de ces ouvrages d'arts sont réalisés en béton armé, susceptibles de se dégrader au cours du temps par des mécanismes d'endommagement très variés qui peuvent induire une dégradation structurale, fonctionnelle ou esthétique et avoir comme conséquence une perte de valeur ou de qualité de service à un niveau élémentaire ou global.

Un ouvrage d'art peut se dégrader sous l'influence des causes liées à sa qualité d'origine ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Pour permettre d'augmenter ou tout simplement de tenir la durée de vie de l'ouvrage d'art, il y a lieu de prévoir une consolidation ou réparation adéquates.

Mais il est important, pour que la réparation soit de qualité, de connaître toutes les causes et les types de pathologies apparentes ou cachées affectant ces ouvrages. Afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution et il est très essentielle d'établir le diagnostic nécessaire pour la prise de décision relative à l'entretien, maintenance ou réhabilitation de l'ouvrage concerné afin d'éviter une intervention qui peut rendre le cas plus pire.

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, il faut donc prévoir une campagne d'évaluation la plus détaillée possible de l'état de la structure, qui a comme but d'obtenir des informations sur l'étendue des dommages et d'établir les causes des dégradations.

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

➤ **Une première partie : recherche bibliographique**

Composée de trois chapitres :

- Dans le chapitre I : on essayé de traiter le problème de la compréhension des différents processus des dégradations les plus fréquentes des ouvrages, telles que la corrosion, la carbonatation, les attaques chimiques, les chocs ...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 consacré à apprécier la valeur d'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 : présentation dès les objectifs de ce travail :**

Qui est basée sur les connaissances des chapitres précédents, et est composée du chapitre IV, lui même partagée en trois parties :

- La 1^{ère} partie est consacrée à la présentation et au recensement du parc des ouvrages d'arts en Algérie, en tenant compte de l'activité de construction des ouvrages durant la période 1994-2008, de la politique prévisionnelle au futur pour le développement

des infrastructures routières et essentiellement les ouvrages d'art. Puis nous avons établi une classification des différents types d'ouvrages basée simultanément sur les paramètres : matériaux de construction utilisés, âge, état actuel et budgets alloués aux travaux de maintenance et réparation dans la période entre 2006-2011.

- Dans la 2^{ème} partie, on a analysé 50 cas d'ouvrages en état pathologique (ce qui représente 1% du parc national), dans la Wilaya de TIZI-OUZOU, sur la base de rapports d'expertises du bureau d'étude SETS-Mila; et après leur exploitation, nous avons pu établir une liste des défauts et des causes les plus fréquemment rencontrés au niveau de ces ouvrages d'art situés dans la même wilaya.
- La 3^{ème} partie est consacrée à discuter dans notre modeste recherche, des différentes défaillances remarquées dans la politique Algérienne de gestion des ouvrages d'arts, de points de vues : réglementation, gestion, formation et perfectionnement du personnel, études et expertises, ...etc.

Nous avons conclu par des propositions qui peuvent bien sur être développées concernant : Modèle de Fiche d'identification (permettant de recenser l'ensemble des informations nécessaires de l'ouvrage), Modèle de Fiche d'inspection (comportant une méthodologie de relevé des dégradations observées au niveau des ouvrages d'art et permettant d'établir une évaluation de l'état de l'ouvrage et de pouvoir conclure à des propositions d'interventions et de réparations probables), et Organigramme de réparation d'un ouvrage d'art.

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.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Pathologies Des Ouvrages 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 pathologies 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 ouvrages en béton ?
- Quelle sont leurs natures, leurs étendues et leurs potentialités d'évolution ?

I.2 GENERALITE 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 d'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. (Voire Annexe A).

I.3 ACTIONS ET PATHOLOGIES AGISSANTS SUR LES PONTS

I.3.1 Action Des Eaux [43]

Le béton n'est pas le seul matériau vulnérable aux processus physiques et chimiques de dégradation liées à l'eau , Par conséquent, il est souhaitable d'examiner de manière générale les caractéristiques de l'eau qui font le principal agent de la destruction des matériaux solides. L'eau se trouve sous diverses formes, telles que l'eau de mer, les eaux souterraines, eaux de rivière, l'eau de lac, la neige, la glace et la vapeur, est sans doute le liquide le plus abondant dans la nature. Les molécules d'eau sont très petites et, par conséquent, sont capables de pénétrer dans les pores très fins ou des cavités . En tant que solvant, l'eau est réputée pour sa capacité à dissoudre plus de substances que tout autre liquide connu . Cette propriété représente la présence de nombreux ions et gaz (gaz carbonique en forme de H_2CO_3) dans certaines eaux qui, à leur tour, deviennent contribué à provoquer la décomposition chimique des matériaux solides. En outre, l'eau a la plus forte chaleur de vaporisation parmi les liquides commune, par conséquent, à la température ordinaire, il a tendance à exister à l'état liquide dans un matériau poreux, plutôt que de vaporisation et de laisser les matériaux secs. Par ailleurs, avec des solides poreux, les mouvements de l'humidité interne et les transformations structurelles d'eau sont connus pour provoquer des changements de volume perturbateurs de nombreux types , Par exemple, la congélation de l'eau en glace (voire gel dégel), la formation d'une structure ordonnée de l'eau dans les pores fins, le développement de la pression osmotique due à des différences de concentration ionique, et l'accumulation de pression hydrostatique par des pressions de vapeur différentielle peut conduire à de fortes contraintes internes.

I.3.1.1 Action de l'eau de mer [43]

La plupart des eaux de mer sont assez uniforme dans leur composition chimique, qui se caractérise par la présence d'environ 3,5 % des sels solubles en masse. Les concentrations ioniques de Na^+ et Cl^- sont les plus élevés, généralement 11 000 et 20 000 mg / l, respectivement. Cependant, du point de vue de l'action agressive sur les produits d'hydratation de ciment, des quantités suffisantes de Mg_2 et SO_4^{2-} sont présents, généralement 1400 et 2700 mg/ L respectivement.

Le béton exposé à l'environnement marin peuvent se détériorer en raison des effets combinés de l'action chimique des constituants d'eau de mer sur les produits d'hydratation du ciment, alcali-

granulat d'expansion (lorsque des granulats réactifs sont présents), la pression cristallisation des sels dans le béton, si une face de la structure est soumise à de mouillage et d'autres à des conditions de séchage, action du gel dans les climats froids, la corrosion de l'acier encastré dans les membres armés ou précontraint, et l'érosion physique due à l'action des vagues et des objets flottants. Attaque sur le béton en raison de l'une de ces causes tend à augmenter la perméabilité, non seulement rendre le matériel de plus en plus sensible à d'autres mesures par le même agent destructeur, mais aussi par d'autres types d'attaque, la **figure I.1** illustre les différentes attaques de l'eau de mer.

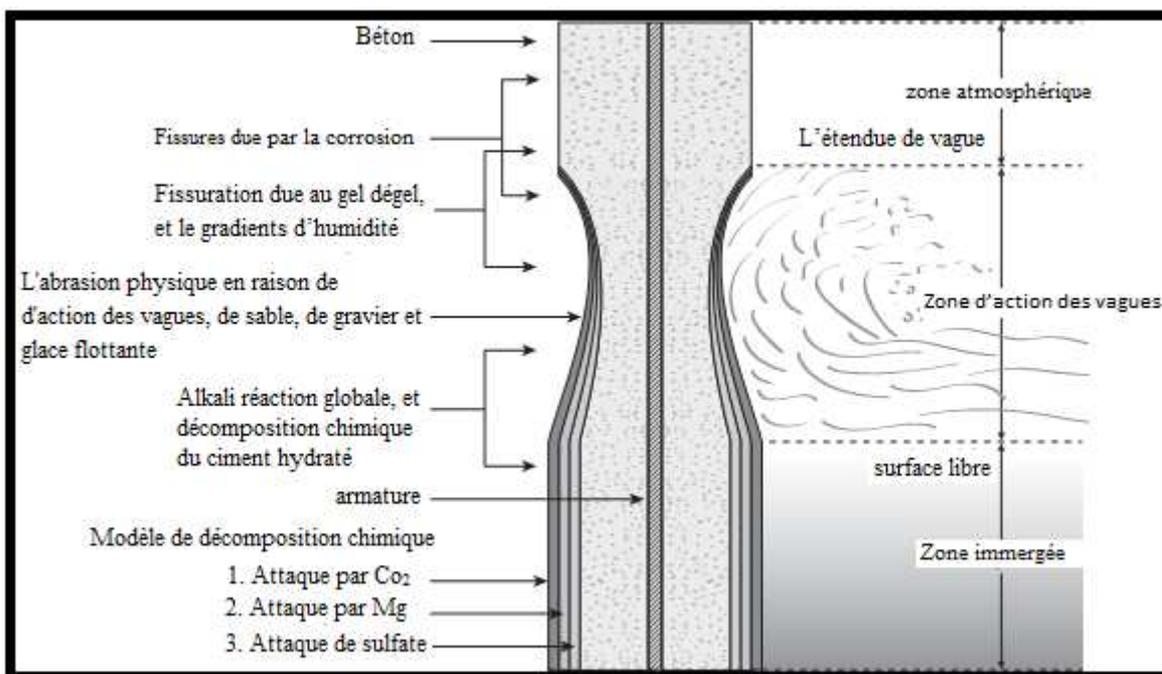


Figure I.1 : Représentation schématique d'un cylindre en béton armé exposé à l'eau de mer [43]

I.3.1.2 Action Mécanique De L'eau

I.3.1.2.1 Les Affouillements

Se manifestent autour des appuis de pont implantés dans un cours d'eau et surviennent lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau qui entoure une fondation est élevée, l'eau écoulee se compose d'un mélange bi-phasique comportant une phase liquide et une phase solide (transport solide). L'action de l'eau est tellement violente qu'elle est capable de dénuder (déchausser) un massif de fondation et de rendre une construction instable, des ouvrages en entier sont emportés ou détériorés et les remblais d'accès en général sans protection sont affouillés, créant des points de coupure sur des axes névralgiques.

Ce type de problème se pose en pratique

- ✓ autour de tout massif support de structure installé en rivière et qui en perturbe l'écoulement, engendrant à son pourtour des vitesses de fluides élevées,
- ✓ à proximité des évacuations hydrauliques d'un ouvrage de retenue, barrage,
- ✓ Les ouvrages hydrauliques de type « cadre fermé » introduisent des rétrécissements importants des sections hydrauliques offertes à l'écoulement une très grande vitesse.

Les affouillements de piles en rivière ont été la cause historique prédominante dans les dégradations et destruction de ponts au cours des siècles passés. La situation est meilleure de nos jours en raison des techniques modernes d'exécution de travaux en rivière (les travaux des fondations) et des possibilités d'exécution d'ouvrages de grande portée réduisant le nombre de piles en rivière.

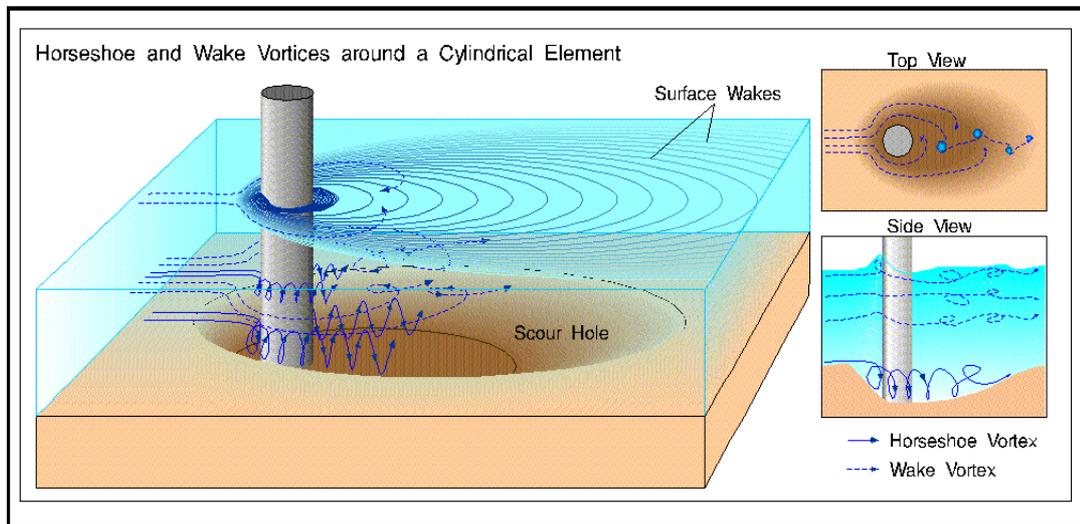


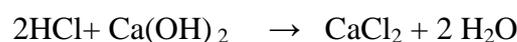
Figure I.2 : Phénomène d'affouillement au pied d'une pile de pont [62]

I.3.2 Action Des Acides

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 [11].

Tell que

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

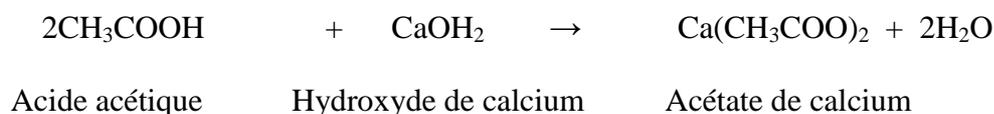


- acide sulfurique donne du sulfate de calcium, qui précipite sous forme de gypse ;

- 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.



En raison de ces réactions, la structure du ciment durci est détruite selon le mécanisme présent par la Figure I.3.

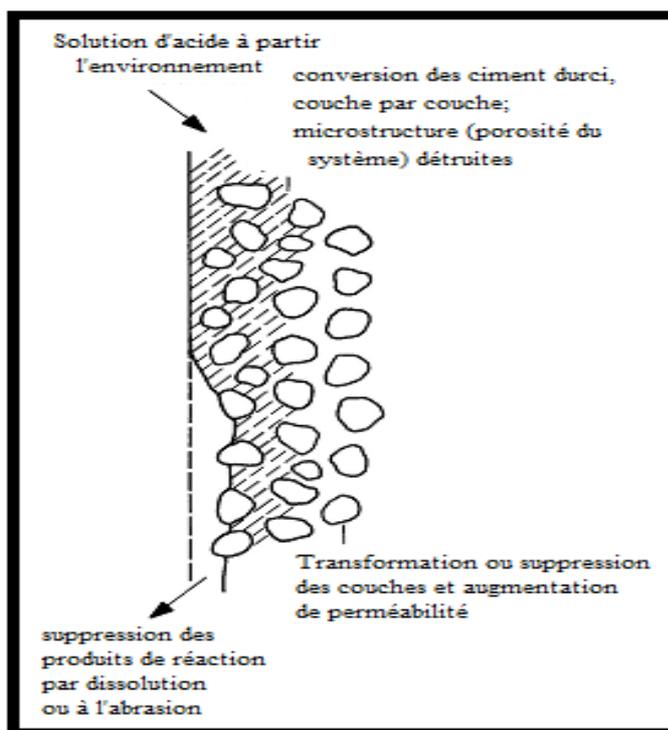


Figure I.3 : Mécanisme des attaques par les acides [11]

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.

I.3.3 L'attaque des Sulfatiques

I.3.3 .1 Présentation

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

I.3.3 .2 L'origine des Sulfates

Les sulfates peuvent avoir de différentes origines

a) *Origines Intérieures*

- ils peuvent provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, héli-hydrate, anhydrite) auquel s'ajoutent en proportion variable.
- les sulfates continus dans le clinker lui-même : sulfate alcalins (arcanite K_2SO_4 , aphtitalite $K_3Na(SO_4)_3$) et solution solides dans les silicates de calcium [30].
- ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats ou de l'eau de gâchage pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle [43].

b) *Les origines extérieures* [9]

- Action des eaux souterraines sulfatées, les concentrations les plus élevées sont en général dues à la présence de sulfates de magnésium ($MgSO_4$) ou de sulfates alcalins (K_2SO_4 ; Na_2SO_4).
- Action de l'eau de mer (contenant 2,2 g/l de $MgSO_4$);
- Action de remblais ou de sol contenant des sulfates (exemple des remblais constitués de schiste houiller) ;
- Action des pluies acides emmenant avec elles le dioxyde de soufre contenu dans l'atmosphère.
- Dans les environnements industriels et urbains, l'atmosphère peut contenir de l'anhydride sulfureux SO_2 provenant des gaz de combustion (carbone, carburants divers). En présence d'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif.

I.3.3 .3 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: **L'ettringite**, **Le gypse** et **La thaumasite**.

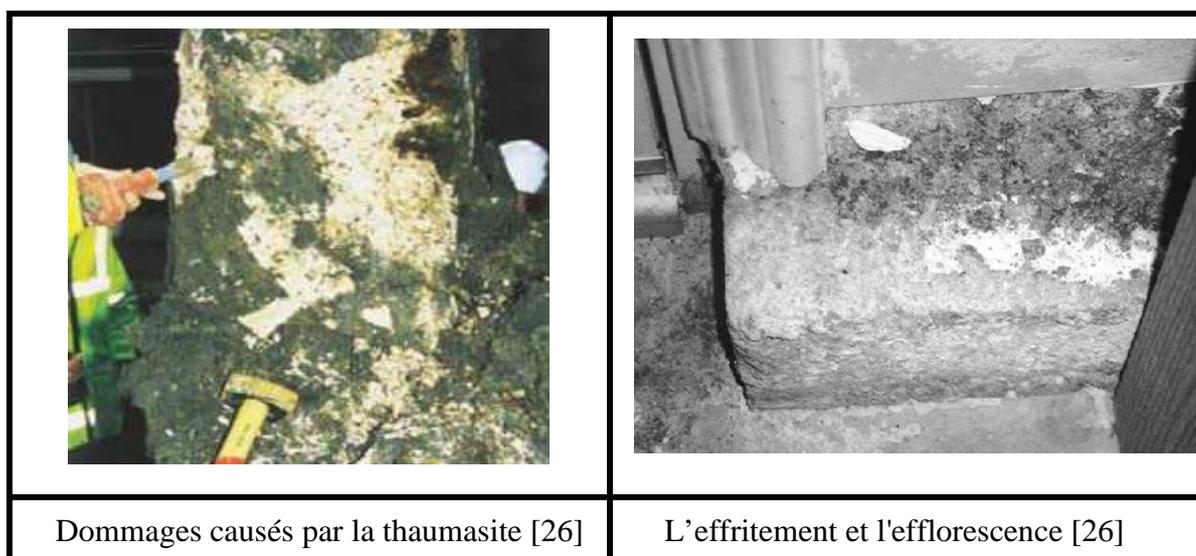


Figure I.4 : Exemples des structures attaquées par les sulfates.

I.3.3.4 Les conséquences des réactions Sulfatiques [26]

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 formé;
- 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 $\text{Mg}(\text{OH})_2$) 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 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
- 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 microfissuration;
- 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.

I.3.4 L'alcali-Réaction

Pendant de nombreuses années, les agrégats étaient censés être essentiellement inertes et chimiquement non réactifs dans les mélanges de béton. Malheureusement, ce n'est souvent pas vrai, les agrégats sont actifs et entrent dans une réaction qui présente l'une des pathologies du béton, Cette réaction est à présent décelée dans la plupart des régions du monde. Ce fut probablement **R.J. Holden** qui observa pour la première fois aux États-Unis, en 1935, la présence de réactions chimiques dans les bétons, entre les ciments et certains granulats. Puis, **Kammer et Carlson** constatèrent également l'existence de désordres, mais c'est **Stanton** le premier qui précisa (en 1940) la nature des réactifs en cause dans les dégradations observées sur des chaussées en Californie. En France, il faut attendre la fin des années 1970 pour certifier la présence d'alcali-réaction au sein de quelques barrages, et 1987 pour découvrir que plusieurs ponts sont atteints par cette maladie. Les structures les plus touchées sont celles qui sont en contact avec l'eau ou celles qui se situent dans des environnements humides; ce sont donc essentiellement les ouvrages de génie civil et certaines pièces humides de bâtiments qui sont les plus vulnérables.

I.3.4.1 Définition

Est une réaction endogène «génères 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 supérieur à 80-85%
- concentration en alcalins excédant un seuil critique [30].

- 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) [9].

I.3.4.2 Les différents types de réactions

En général on distingue trois formes de l'alcali-réaction selon réaction alcali-silice (la plus fréquente), réaction alcali-silicate et réaction alcali-carbonate,

a) *Réaction Alcali-silice (ASR) (la plus fréquente)* [35]

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 :

- 1- Des produits blanchâtres et la réaction des jantes autour des particules agrégées,
- 2- Fissures à travers agrégats, parfois remplis de gel, la matrice des fissures souvent contiguës aux fissures globales, et les vides remplis de produits de réaction - **Figure (d)**.
- 3- Une perte d'adhérence peut également se produire entre les granulats et la matrice cimentaire.
- 4- 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.

b) *Réaction alcali-silicate* [30]

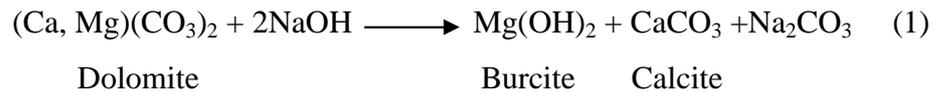
La différence essentielle avec la réaction alcali-silice réside dans le fait que les granulats réactifs ne sont pas formés de silice libre mais sont des silicates variés (phyllo-silicates, tecto-silicates, sains ou altérés) .en ce qui concerne les produits de la réaction, on admet qu'ils sont voisins de ceux apparus dans la réaction alcali-silice.

c) *Réaction alcali-carbonate*

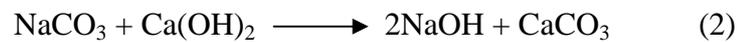
Contrairement aux autres réactions alcali-granulaire, l'alcali-carbonate ne veut pas produire un gel expansif ou elle est moins importante que celles dues aux réactions alcali-silice ou alcali-silicate sauf si le béton est soumis à des ambiances hivernales rigoureuses [ACI 221].

Au ce lieu la, les particules grossières soumis a une expansion global due à des hydroxydes alcalins réagissent avec des petits cristaux de dolomite dans une matrice d'argile, entraînant une réaction de dolomitisation. Ce type d'RAG est limitée à l'argile contenant du carbonate global, tels que certains argiles dolomies calcite, et provoque l'expansion et à la fissuration étendue (Swenson et Gillott, 1964; Dolar-Mantuani, 1983).

La réaction se manifeste comme suit



Lorsque dédolomitisation conduisant à la formation des Brucite $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$, il ya une régénération de l'alcali sous la réaction suivante



Ce qui conduise à l'autoalimentassions de 1^{er} réaction, c'est une caractéristique qui est différente de la réaction alcali-silice, dans lequel l'alcali est combiné (diminue) dans le produit de la réaction que la réaction progresse.

I.3.4.3 Typologie des désordres [9]

Sur un béton les manifestations de l'alcali-réaction visibles à l'œil ou mesurables sont :

- Fissuration orientée dans le sens des contraintes pour la partie des ouvrages pré ou post contrainte, ou fortement armé ;
- Formation des cônes d'éclatement lorsqu'on a affaire à certaines espèces à cinétique de réactivité très rapide contenues dans des granulats proches du parement ;
- Fissuration en macro-faïençage des parois avec des contours polygonaux ;
- Des exsudations blanches de gels (à ne pas confondre avec les efflorescences de chaux carbonatée) ;
- Réduction de la résistance à la traction à la compression et indirects dus à l'expansion de l'ASR ;
- Rupture d'un acier passif comme le montre la photo (C) ;

Tableau I.1 : L'influence des alcali-réactions sur la résistance du béton [35].

	Réduction	
Expansion (%)	Résistance à la compression (%)	Résistance à la traction indirecte (%)
- 0.1-0.2	0-20	20-25
- 0.3-1.0	25-65	20-30
- >1.50	> 60	----

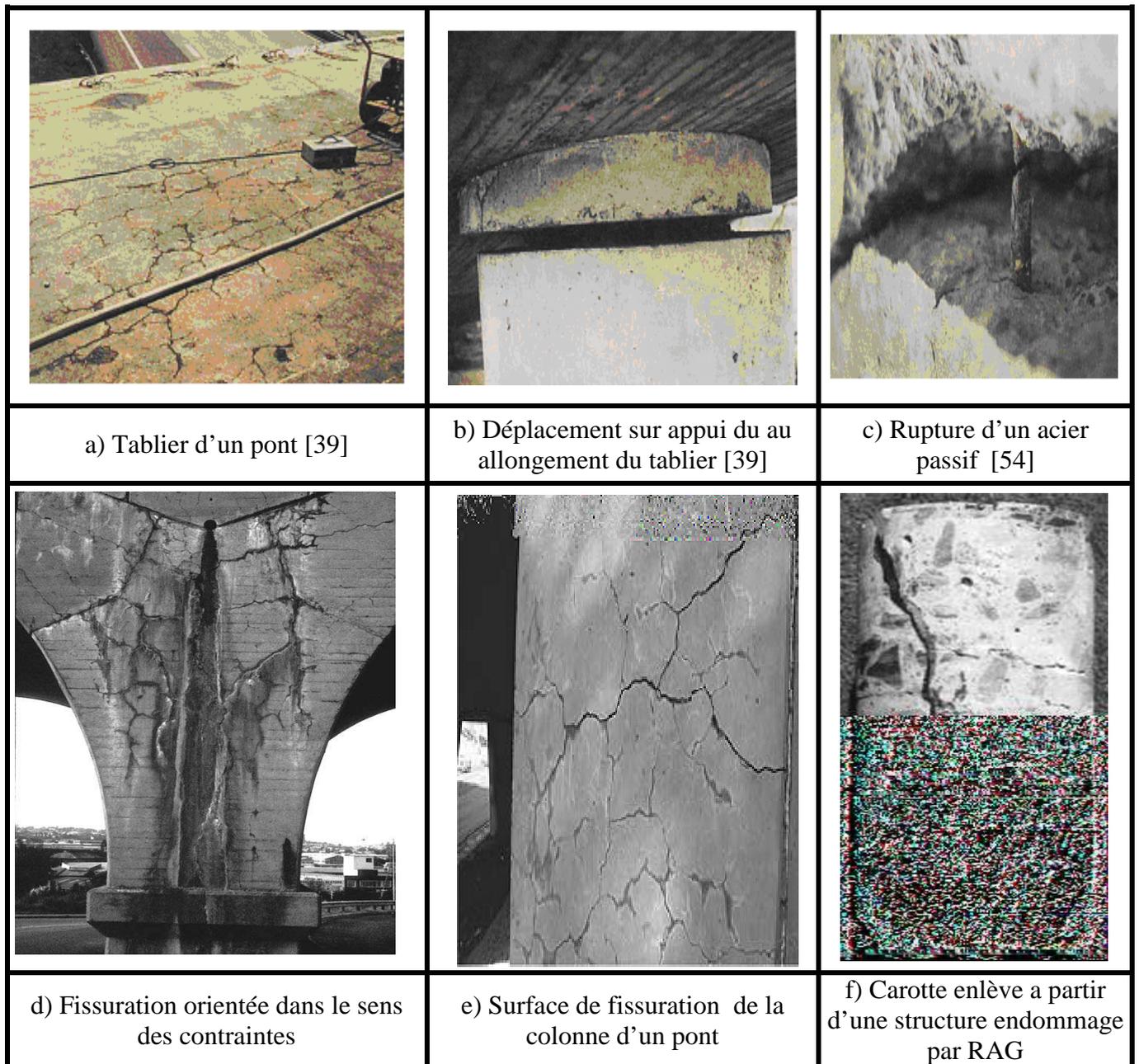


Figure 05: Exemples des dommages occasionnés par RAG.

I.3.5 Attaque des Chlorures

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 peuvent 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 où le mélange de béton peut contenir l'eau de mer.

I.3.5.1 Mouvement de Chlorure dans le béton

La pénétration des chlorures se manifestent suivant les deux cas suivant :

- En milieu saturé, ou partiellement saturé mais avec interconnexion de la phase liquide du béton poreux, les ions chlorures pénètrent dans le béton par diffusion sous gradient de concentration ;
- Pour les parements soumis à des cycles d'humidification et de séchage (zone de marnage ou sels de déverglace), les chlorures pénètrent tout d'abord par absorption capillaire et migrent avec la phase liquide par convection dans la zone concernée par les cycles, ensuite la pénétration se manifeste par diffusion.

La pénétration des chlorures dépend donc des caractéristiques des matériaux et des cycles d'humidification et séchage (durée, condition climatique), ainsi que la concentration des chlorures et la présence de la fissuration qui facilite la pénétration des chlorures.

I.3.5.2 Seuil d'amorçage de la Corrosion due par les Chlorures

A la différence de la carbonatation, la corrosion ne démarre pas instantanément lorsque les ions atteignent les aciers : il faut atteindre une concentration critique.

Cette valeur, exprimée par le rapport aux chlorures libres, peut varier en fonction de plusieurs facteurs comme la composition du béton, la teneur en C_3A , le rapport E/C, l'humidité relative, la température, la microstructure en contact avec l'acier et l'état de surface de l'acier.

Néanmoins il est admis la valeur suivante $[CL^-] / [OH^-] \geq 0.6$

Le rapport $[CL^-]_{\text{libre}} / [OH^-]$ compris entre 0.6 et 1 conduit généralement à une concentration critique en ions de chlorures plus ce rapport est élevé, plus la vitesse de corrosion est grande.

I.3.5.3 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' O_2 et H_2O 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.

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.7** .comme il est illustré dans la **Figure(I.6)** suivante

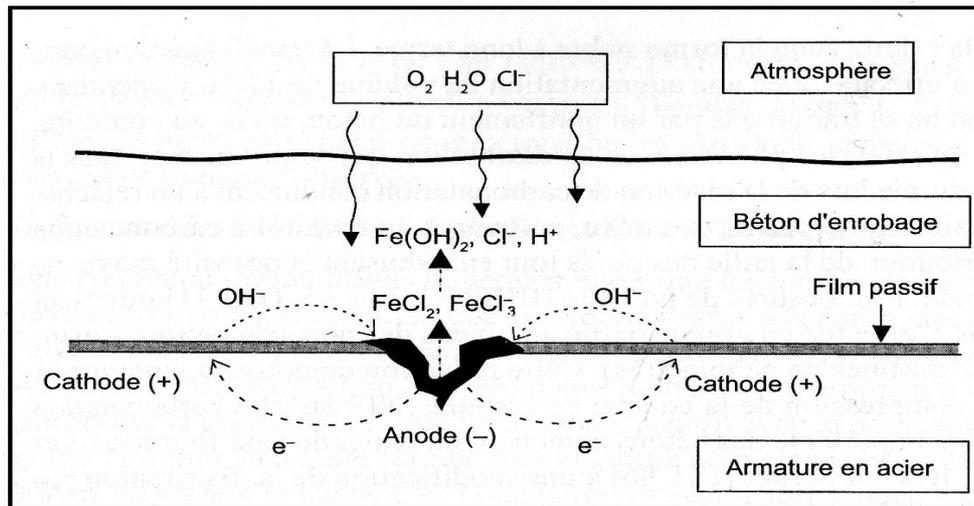


Figure I.6: Mécanisme de la corrosion électrochimique en présence des chlorures. [30]

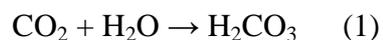


Figure I.7 : Pique profonde causée par une attaque de chlorure. [51].

I.3.6 Carbonatation

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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, les silicates de calcium hydratés (C - S - H), les chloroaluminates et les sulfoaluminates.

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 :

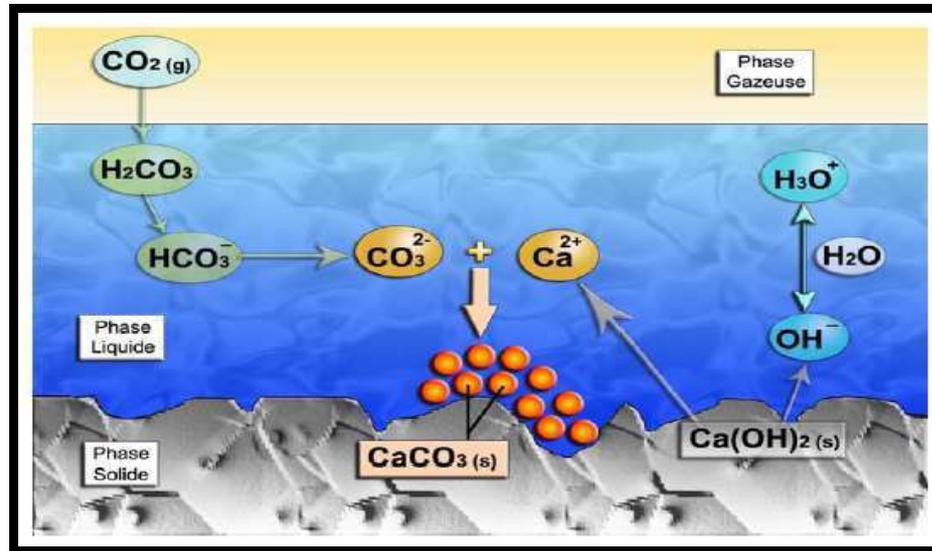
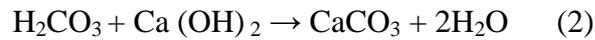
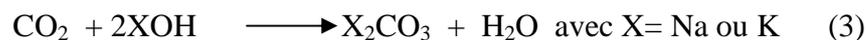


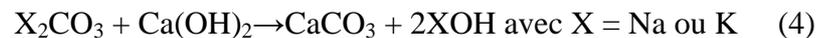
Figure I.8 : Mécanisme de carbonatation de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [33].

I.3.6 .1 Les Mécanismes de carbonatation

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 :

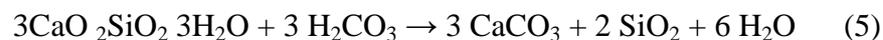


La carbonatation des bases alcalines augmente la solubilité de la chaux qui peut alors se carbonater en plus grande quantité [30]:

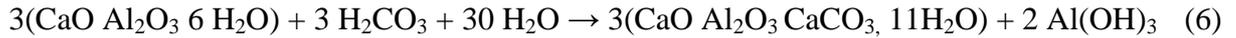


La portlandite est le composé le plus sensible à la carbonatation et qui réagit rapidement mais d'autres composés sont aussi sensibles à l'attaque par le CO_2 en formant la calcite CaCO_3 tel que :

- Le silicate de calcium C-S-H : [30]



- Les aluminates:



- Puis la carboaluminate se décompose en alumine et carbonate: [30]



- L'ettringite peut également se carbonater: [30]



I.3.6.2 Les facteurs influents sur la carbonatation

La réaction de carbonatation progresse de l'extérieur vers l'intérieur du béton, avec une vitesse dégressive, qui dépend des caractéristiques du béton (porosité, nature du ciment, etc.) et de l'humidité relative du milieu ambiant. La vitesse de carbonatation atteint son maximum pour une humidité comprise entre 40% et 80%, 60% étant considéré comme la valeur la plus critique.

De fortes teneurs, dans un béton, en cendres volantes (>30%) et en laitiers (>50%) peuvent accélérer significativement sa vitesse de carbonatation. Après environ 30 ans, la profondeur de carbonatation dans un béton peut varier généralement de 1 mm à 30 mm, suivant les bétons et leur milieu environnant.

- La propagation rapide du CO_2 à l'intérieur du béton
- Le rapport E/C très élevé se 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 conservé 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 CO_2

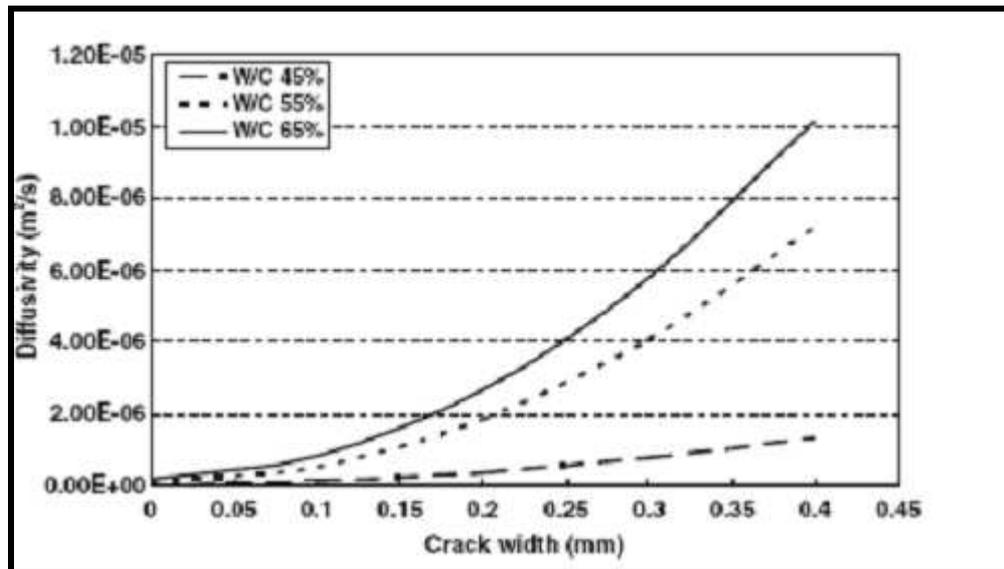


Figure I.9 : effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO_2 pour différents rapports C/E [61]

- Un enrobage insuffisant
- Une humidité relative suffisante

I.3.6.3 Conséquences de la carbonatation :

a) Béton

Du point de vue du béton seul, on considère que la carbonatation a une conséquence bénéfique, en effet, la réduction de la porosité conduit à améliorer les résistances mécaniques et limite la pénétration d'agents agressifs. On parle d'un effet dit « Colmatage » des pores.

- les réactions de carbonatation de la portlandite conduisent à une augmentation de volume de la phase solide, cette augmentation conduit à la diminution du volume poreux du béton. [63], [58], en mesurant la porosité pour des pâtes de ciment de E/C variant de 0.3 à 0.8, ils ont trouvé des baisses de porosité allant de 10 % à 15%.
- La diminution de porosité associée à la carbonatation engendre une augmentation de résistance mécanique. La calcite consolide la microstructure, il est en effet bien connu que le carbonate de calcium est un excellent liant, ce qui assure l'essentiel de la résistance mécanique des mortiers de chaux

b) Armatures

L'hydroxyle de Calcium existe dans le béton augmente l'alcalinité de ce dernier, qui maintient un niveau de pH de 12-13 après l'attaque et la propagation des carbonates à l'intérieur

du béton , forme du carbonate de calcium , à partir de cela la valeur du pH sera réduite à un niveau (pH <8) ce qui provoque la corrosion des armatures.

I.3.7 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.

I.3.7.1 Le mécanisme de Corrosion

La corrosion représente l'attaque destructive d'un métal par des réactions électrochimique qui conduisent à un transfert d'ions et d'électrons à l'interface métal/solution à la surface du métal. Deux types de réactions couplées correspondent au processus de corrosion/oxydation, ont lieu :

- **Une réaction anodique [9]**

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

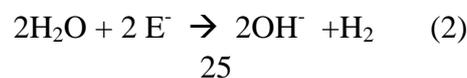


La cinétique de cette réaction est régie par la capacité du milieu électrolytique à accepter la présence d'ions ferreux Fe^{2+} ou ferriques Fe^{3+} , la concentration de ces ions dépend de la nature des anions présents dans la solution et de la valeur de produit de solubilité des anions et des ions ferreux ou ferriques.

- **Une réaction cathodique [9]**

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 :

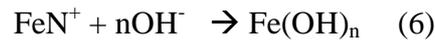




En présence de l'oxygéné



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



Elles sont illustrées schématiquement par la figure :

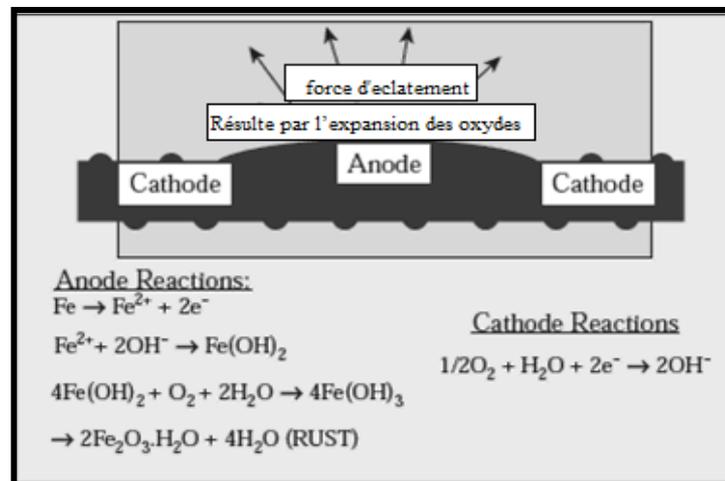


Figure I.10 : Le Mécanisme de la Corrosion [44]

I.3.7.2 Les phases de dégradation

Les manifestations visibles de la corrosion d'un ouvrage sont les conséquences de réaction qui ont commencé bien avant que les désordres ne soient apparents. On distingue schématiquement "Figure I.12" et successivement deux phases dans le développement de la corrosion :

- **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.

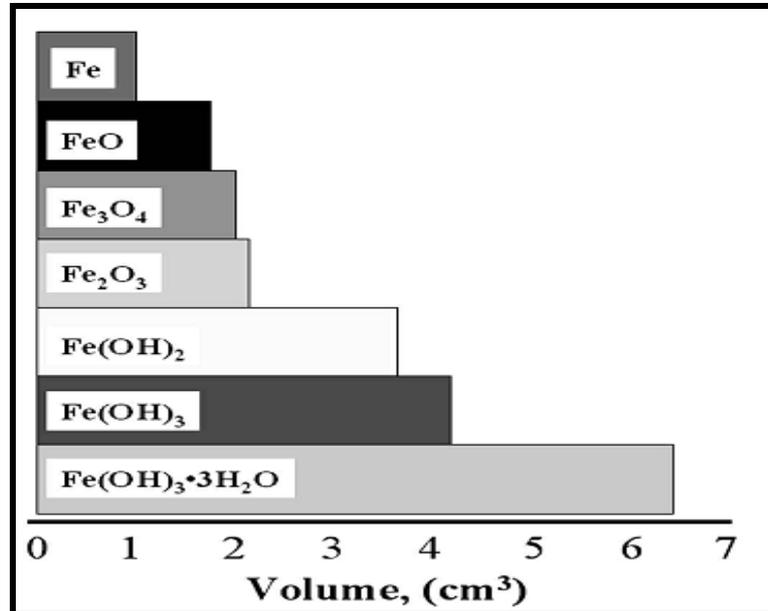


Figure I.11 : Volume relatif des produits d'oxydation du fer [2].

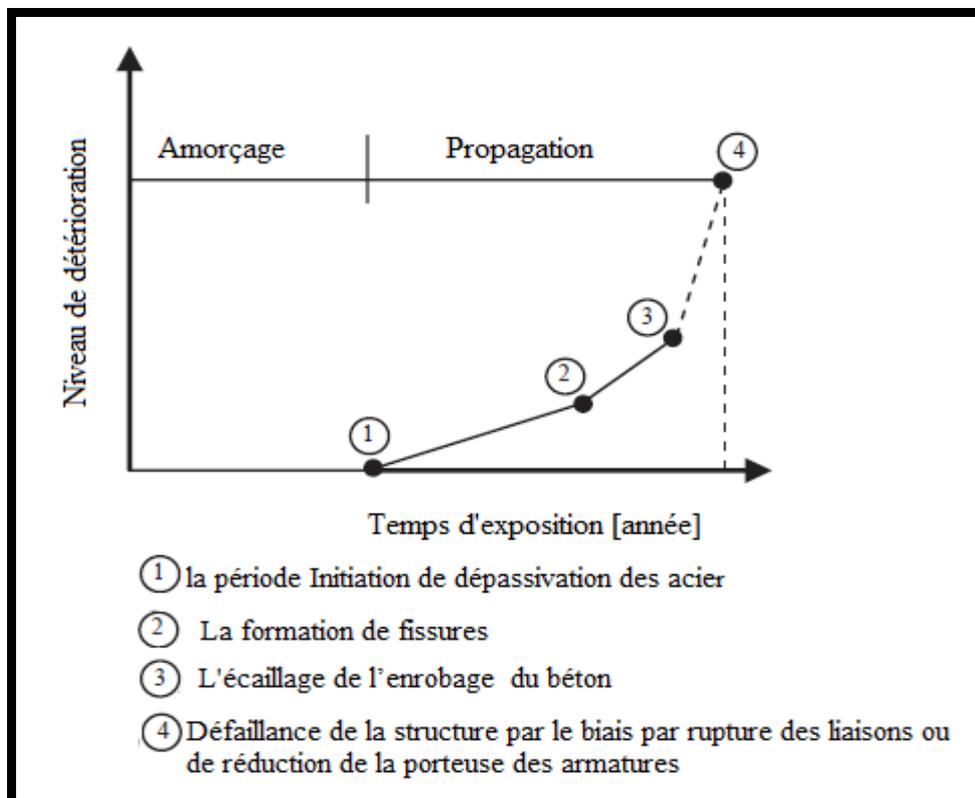


Figure I.12 : Les phases de la corrosion [34].

I.3.7.3 Facteurs influents de la corrosion

La corrosion des armatures dans le béton agit ou s'accélère en fonction des paramètres concernant l'acier et le béton ainsi que des propriétés existantes à leur interface. Les facteurs environnementaux (humidité, température, dioxyde de carbone, ions chlorure) ne peuvent affecter directement les processus de corrosion mais ils peuvent causer des dégradations du béton et accélérer l'entrée d'espèces agressives rendant la solution interstitielle en contact avec l'acier plus corrosif. La température et l'humidité, tout comme les autres facteurs pouvant détériorer le béton, jouent aussi un rôle important dans la corrosion des armatures.

La corrosion de l'acier n'est donc pas dépendante d'un seul paramètre mais de plusieurs dont les interactions concourent ou non à la corrosion.

- La carbonatation : voir paragraphe carbonatation
- Les ions de chlorures : la concentration critique des ions...etc.
- **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 :** Tout ce qui conditionne la solution interstitielle et la porosité du béton est un facteur pouvant affecter ou non la corrosion, le type et la teneur en liant, les additions minérales et le rapport E/C (Eau/Ciment) déterminent la performance d'un 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, l'augmentation de

la compacité provoquée par les ajouts minéraux, utilisés en quantité suffisante, peut de plus annuler largement

Les effets néfastes de la diminution du pH interne et de la moins grande quantité d'aluminate tricalcique (C_3A) qui découlent de l'utilisation de ces ajouts.

- **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 [14].

- ✓ Les expériences des ouvrages montrent que les fissures parallèles aux barres sont plus dangereuses que les fissures perpendiculaires [50]. 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 [27].

- ✓ 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. Pour un type de liant et E/C donné, la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de largeur des fissures, alors que pour une largeur de fissure donnée, la vitesse de corrosion diminue quand la qualité du béton augmente.

I.3.7.4 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.

Le tableau suivant montre les différents facteurs influents la corrosion des bétons précontraints ainsi que les problèmes résultant :

Tableau I.2 : Causes et effets de la corrosion des aciers de précontrainte [2]

Facteur d'influence	Les problèmes potentiels
<p>Environnement: -L'utilisation de sels de déglçage l'environnement marin -Sols à forte teneur élevée en sel -Exposition aux produits chimiques (acides, des matériaux à haute teneur en soufre) -Accès à l'eau dans les conduits</p>	<p>-Source de l'humidité et les chlorures -Source de l'humidité et les chlorures -Source des chlorures -Peut conduire à des HE ou l'hydrogène induit par corrosion sous contrainte -Sources d'humidité</p>
<p>Choix des matériaux: La plupart des aciers traités thermiquement précontrainte Basse-qualité du béton Faible qualité de post-tension coulis D'assise non permanents (conduits) La corrosion des matériaux sensibles à gaine Métaux différents utilisés pour les composants d'ancrage</p>	<p>Enclin à la corrosion sous contrainte et HE Une protection insuffisante pour l'acier Excessive lentilles saigner ou de vides d'air la formation, l'insuffisance ou de la fluidité excessive, des chlorures dans le coulis Pas de protection contre la corrosion Limitée protection contre la corrosion Enclin à la corrosion galvanique</p>
<p>Des défauts de conception: - Faible couverture en béton - Renforcement congestionnées - Un mauvais drainage - Joint lieux et les détails - La protection d'Anchorage - Emplacement des ancrages de post-tension - Post-tension conduits - Vents de post-tension des conduits - Contrôler le saignement insuffisant</p>	<p>-Insuffisance de protection pour l'acier -Pauvre de consolidation en béton ou en nids d'abeille -Eau salée des étangs de recueillir des éléments structuraux -Eau salée coule sur le soutien des éléments de structure et l'ancrage n'est pas conçu pour une exposition grave -Insuffisance de protection fournis -Salée entre en contact avec d'ancrage -Gaines-discontinu ou des détails d'épissure mauvaise conduire à fuite de coulis ou de la graisse et l'infiltration d'humidité et chlorures -Mauvaise événements ou le manque de bouches conduire à incomplets coulis -Coulis vides dans les zones les plus vulnérables</p>
<p>Défauts de construction : - Couverture en béton de conception n'est pas fourni</p>	<p>-Une protection insuffisante pour l'acier</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Endommagées ou déchirées gaine - Obstruées ou endommagées par post-tension conduit - Mauvaise procédures coulis ou entrepreneurs inexpérimentés - Période prolongée entre les stresser et de coulis / construction -Fuite des joints froids 	<ul style="list-style-type: none"> -Protection en acier de précontrainte est compromise -Incomplet coulis-protection insuffisante pour les aciers de précontrainte -Incomplètes ou inexistantes coulis-insuffisante protection pour les aciers de précontrainte -Possibilité de la corrosion tout en tendon est protégé -Corrosion des tendons
<p>L'absences d'entretiens :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les joints de dilatation - Obstruées ou endommagées drains 	<ul style="list-style-type: none"> -Eau salée coule sur le soutien des éléments de structure n'est pas conçu pour une exposition grave -Salée s'accumule sur les éléments structurels ou de gouttes sur le soutien des éléments de structure n'est pas conçue pour une exposition sévère

I.3.7.5 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 ».

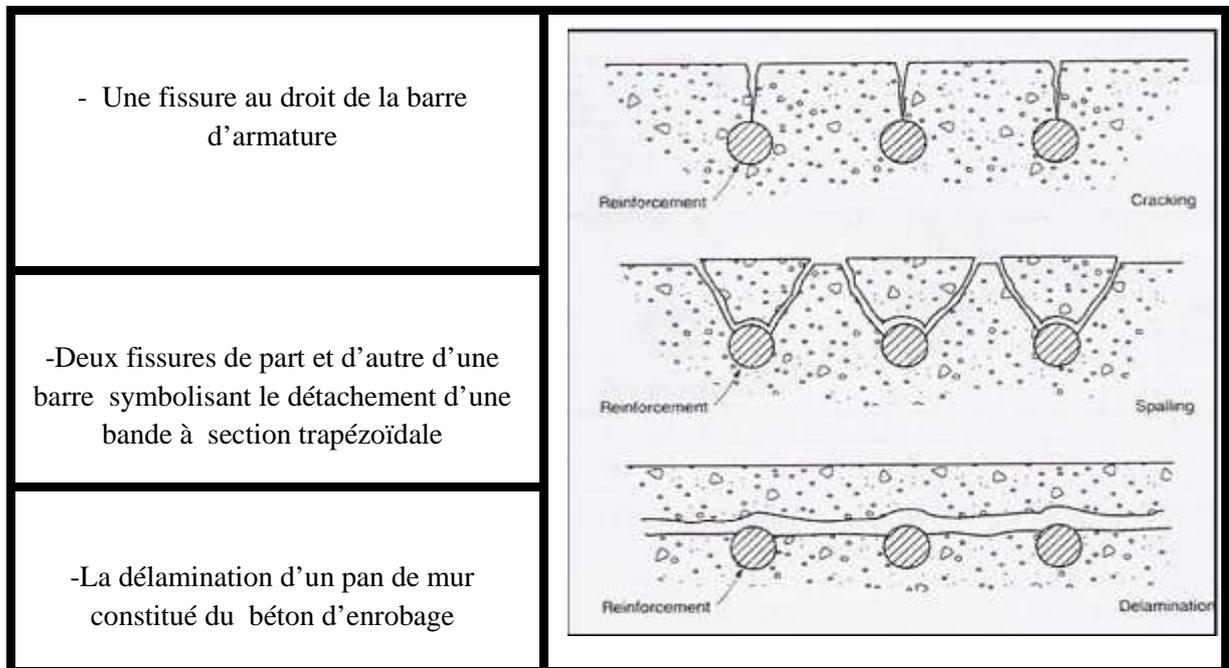
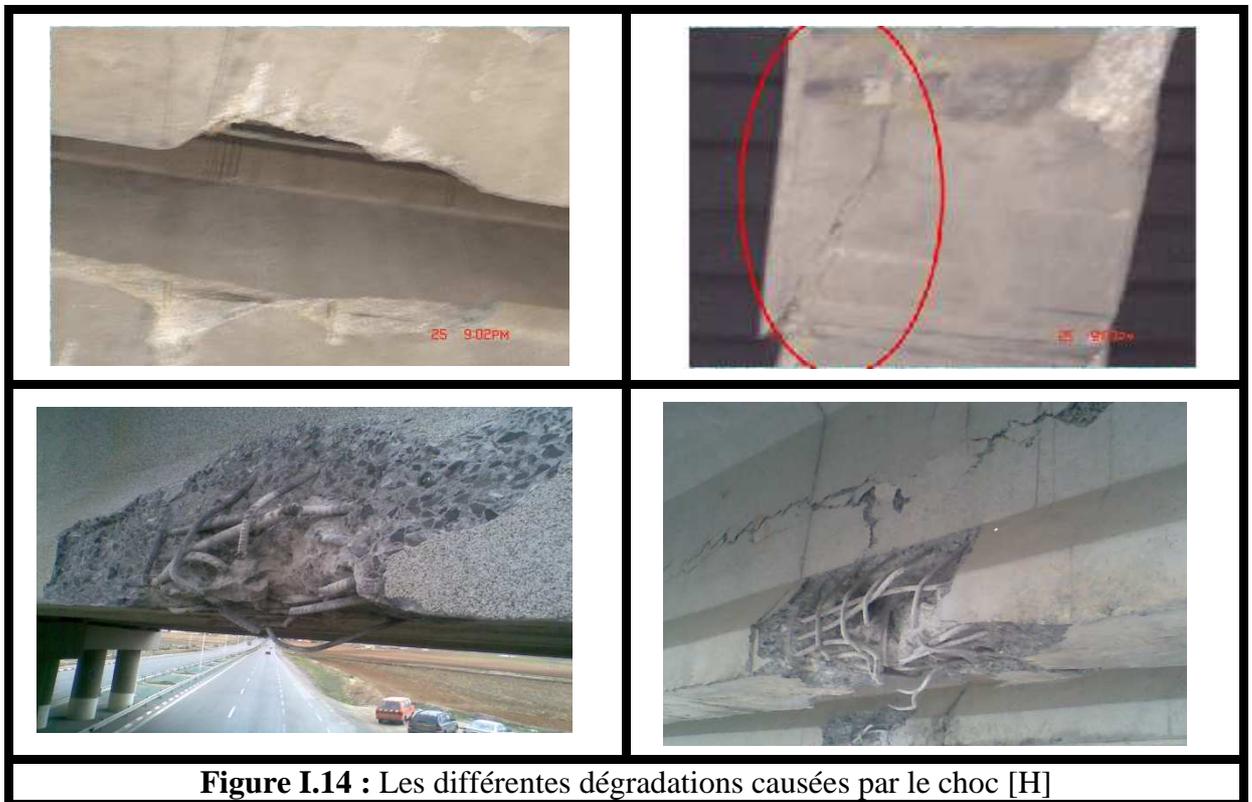


Figure I.13 : Types de fissures développées lors de la corrosion des aciers d'armature.

I.3.8 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.

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 profond et ils n'ont pas l'aspect d'un écaillage, de plus, l'ouvrage est généralement soumis à des impacts (quais ou pont) ce qui fait qu'un tel dommage est immédiatement suspect.



I.3.9 Action Sismique

La situation géographique de l'Algérie, fait que plusieurs régions de notre pays peuvent être qualifiées de zones sismiquement actives. La dernière sollicitation sismique, qu'a connue la région Boumerdès en 2003 de magnitude Mw 6.8, en ont apporté l'ultime preuve. Elle a également, provoqué la discussion sur la prise en compte du risque sismique dans le dimensionnement des ouvrages d'art afin d'éviter les effondrements catastrophiques et limiter le

degré d'endommagement. En effet l'intégration des études parasismique est assez récente par la mise en vigueur de 1^{er} règlement parasismique des ouvrages d'art Algérien élaboré en 2006.

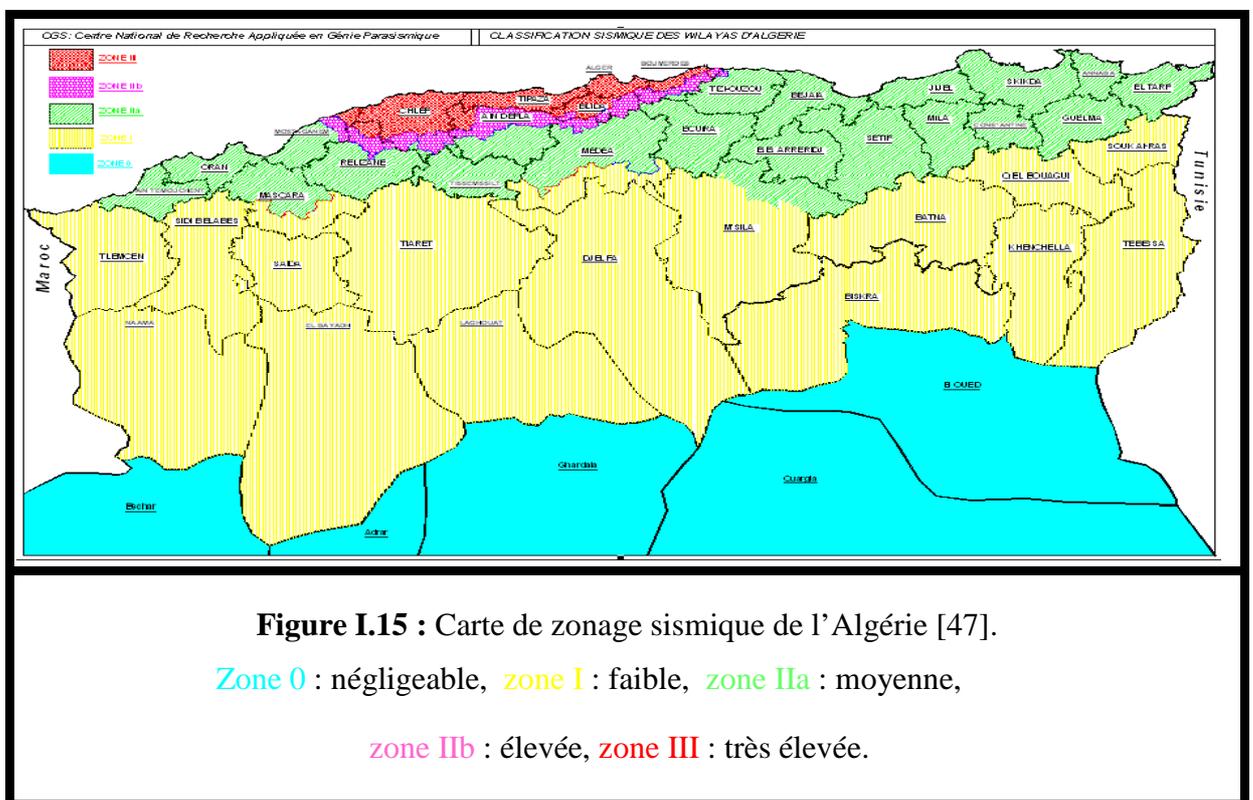
Les ponts sont classés selon leur importance en [47] :

Groupe 1 : Ponts stratégiques qui doivent rester circulables après le séisme tell que 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 5 zones de sismicité croissante :



L'action sismique peut être définie comme un déplacement imposé induisant dans les diverses parties d'un pont, des efforts dans l'intensité proportionnel à la rigidité et le poids de l'élément.

Les effets du séisme sur les ouvrages peut se manifester en :

I.3.9.1 Les Dommages Induits Par Le Séisme Directement [46]

Concernant les dommages, ils sont de quatre types :

- 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)

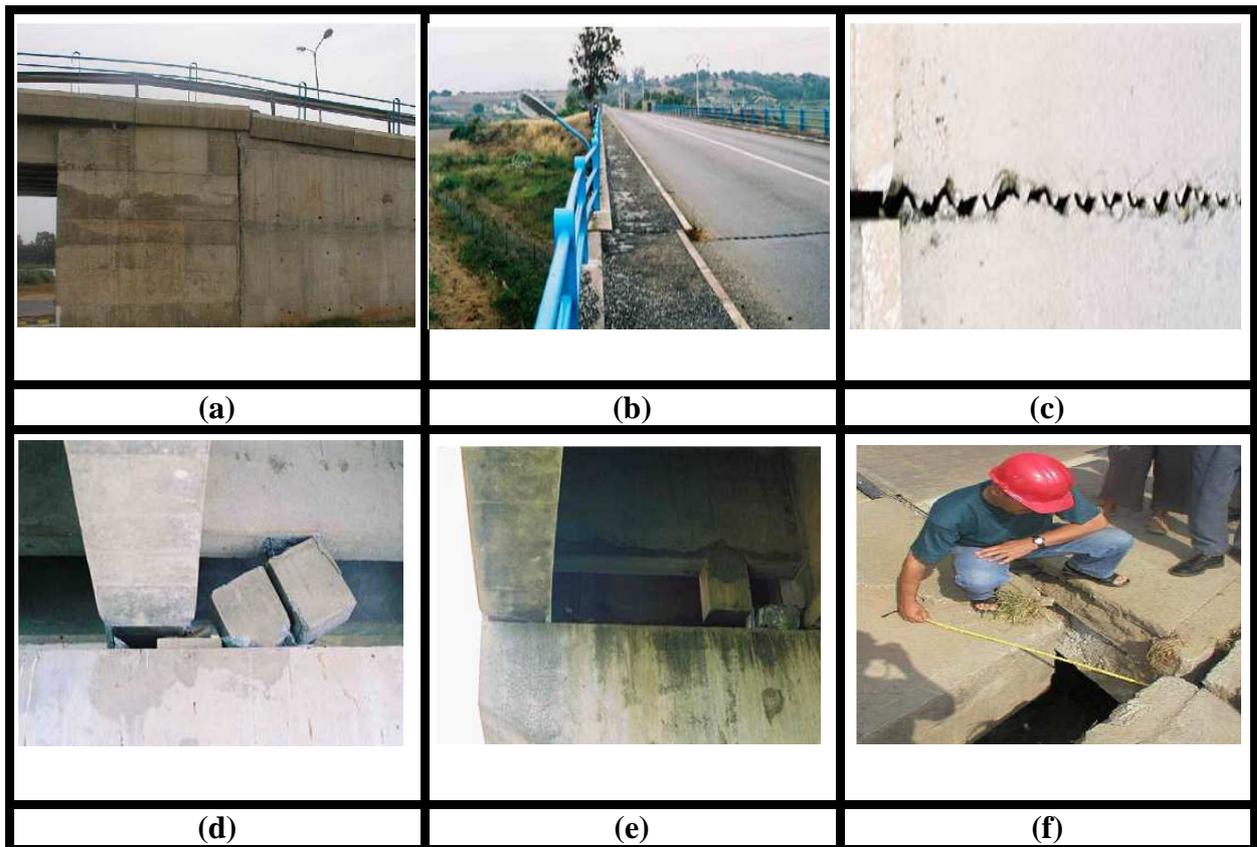


Figure I.16 : Exemples des dommages induits par le séisme [46]

I.3.9.2 Les Effets Indirects :

- La liquéfaction des sables (perte de la capacité portante des sables gorgés d'eau qui provoquent le basculement et l'enfoncement des constructions) ;
- Le glissement de terrain : sur les versants, les glissements provoqués par les séismes ne sont pas rares et entraînent la perte totale des ouvrages concernés ;

- Les éboulements rocheux : ils sont fréquents dans les régions montagneuses. Les constructions peuvent alors être partiellement ou totalement détruites. Ce danger ne peut être apprécié que par un spécialiste.

I.3.10 La Fatigue [56]

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.

I.3.11 Le Retrait du Béton

Définition : lorsque on observe une pièce de béton aussitôt son gâchage, on constate qu'en, l'absence de toute force extérieure, elle change de volume. Cette propriété, qui a pris le nom de retrait, est à l'origine de désagréments de toutes sortes que les constructeurs connaissent bien. Il est, en réalité, la résultante de mouvement complexe.

I.3.11.1 Les Causes Du Retrait : [30] et [31]

- Les quantités d'eau et de ciment ;
- La présence d'ajouts minéraux, entre autres de fumée de silice qui produisent un réseau poreux plus fin ;

- Le volume de la pâte ;
- Le module élastique des granulats ;
- La nature et la finesse du ciment ;
- La quantité d'armature dans la pièce du béton « pour 5% d'armature, le retrait tombe à 1/5 de sa valeur »
- Les conditions de la cure telle que l'humidité et la température ;
- Les conditions dues au béton : sa consistance ; la granulométrie et la forme des agrégats, la méthode de mise en œuvre ;

I.3.11.2 Les Conséquences du Retrait

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissurations pouvant diminuer la durabilité des structures en béton armé ou précontraint, et/ou limiter leur capacité portante, notamment dans le cas de manifestation dans la masse.

Cette fissuration peut conduire à limiter l'adhérence entre un matériau rapport en surface (revêtement par exemple) et le support en béton, ainsi, l'accélération de la diffusion du CO₂ atmosphérique dans le béton, donc accélération de phénomène de carbonatation.

I.3.12 Effet de gel dégel

La détérioration par le gel se manifeste essentiellement dans les structures construites dans les régions froides ou d'altitude ; dans lesquelles on peut trouver une ambiance hivernale rigoureuse.

Dans la pâte de ciment hydratée, on trouve de l'eau sous différentes formes, mais seulement l'eau libre contenue dans les pores ou sur leurs parois internes est qualifiée de «gelable», la quantité de ce dernier ainsi que la forme, les dimensions et le type des pores, les températures minimale et maximale, taux de gel, degré de saturation sont tous des facteurs qui influent sur l'effet de gel dégel.

L'endommagement des matériaux de construction par le gel, résulte non seulement de l'expansion de volume associée à la solidification de l'eau (en gelant, le volume de l'eau augmente de 9%), mais aussi des écoulements d'eau non gelée dans le réseau poreux, et du comportement thermomécanique de chaque phase (glace, eau, et matrice).

L'action des cycles de gel-dégel produit deux principaux types de détériorations du béton:

- La fissuration interne
- L'écaillage des surfaces.

Ces deux types de dégradations ont pour origine des processus différents et ne surviennent pas nécessairement en même temps lorsque les bétons sont exposés aux cycles de gel-dégel.

✓ **La fissuration interne**

Il s'agit d'une dégradation qui touche toute la masse de béton soumise à des cycles de gel-dégel, cette dernière, se manifeste par l'apparition d'une intense microfissuration du béton non seulement en surface mais aussi à l'intérieur de la masse de béton soumise au gel.

- Dans un béton mal protégé contre le gel, l'intensité de la fissuration interne dépend du nombre de cycles de gel-dégel et de la sévérité des cycles (températures minimale et maximale, taux de gel, degré de saturation).
- La fissuration interne du béton diminue la performance du béton en réduisant considérablement ses caractéristiques mécaniques (résistances à la compression et à la traction, module élastique) et son imperméabilité par exemple, un béton fortement attaqué par le gel interne peut perdre presque toute sa cohésion.

✓ **L'écaillage de surface :**

Comme son nom l'indique, il s'agit d'un mode de dégradation qui touche surtout la surface du béton en contact avec le milieu externe (les premiers millimètres) , elle se manifeste par le décollement progressif de petites particules de pâte qui ont souvent la forme de petites écailles.

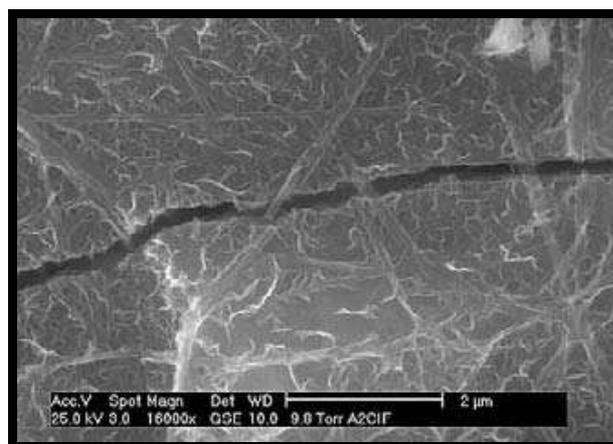


Figure I.17 : Photo réalisée par le MEB d'une fissure interne causée par Gel-Dégel [34].

I.3.13 Défauts d'exécution [9], [52]

Un certain nombre de dégradations du béton sont provoquées par une mauvaise exécution qui peut commencer dès la fabrication du béton et se poursuivre jusqu'à la mise en place de l'étanchéité. Nous allons passer en revue les principaux défauts d'exécution rencontrés et les types des dégradations du béton qui en résultent :

- Une mauvaise formulation du béton qui engendre une porosité trop élevée ; c'est le cas d'un surdosage en eau ou d'un sous dosage en ciment. Une porosité très importante du béton est assurément le facteur le plus nuisible pour sa durabilité ; elle facilite en effet la circulation des eaux et des solutions agressives au sein du matériau, et favorise la corrosion des armatures
- Mauvaise exécution des coffrages : outre les défauts de parement engendrés par des coffrages de piètre qualité ; l'absence d'écarteurs de coffrage peut entraîner une insuffisance d'enrobages et la création de nids de cailloux ou de défaut de bétonnage par « effet de bouchon » des gros granulats coincés entre les armatures et le coffrage , des nids de cailloux peuvent aussi être provoqués par des fuites de laitance aux joints entre coffrages.

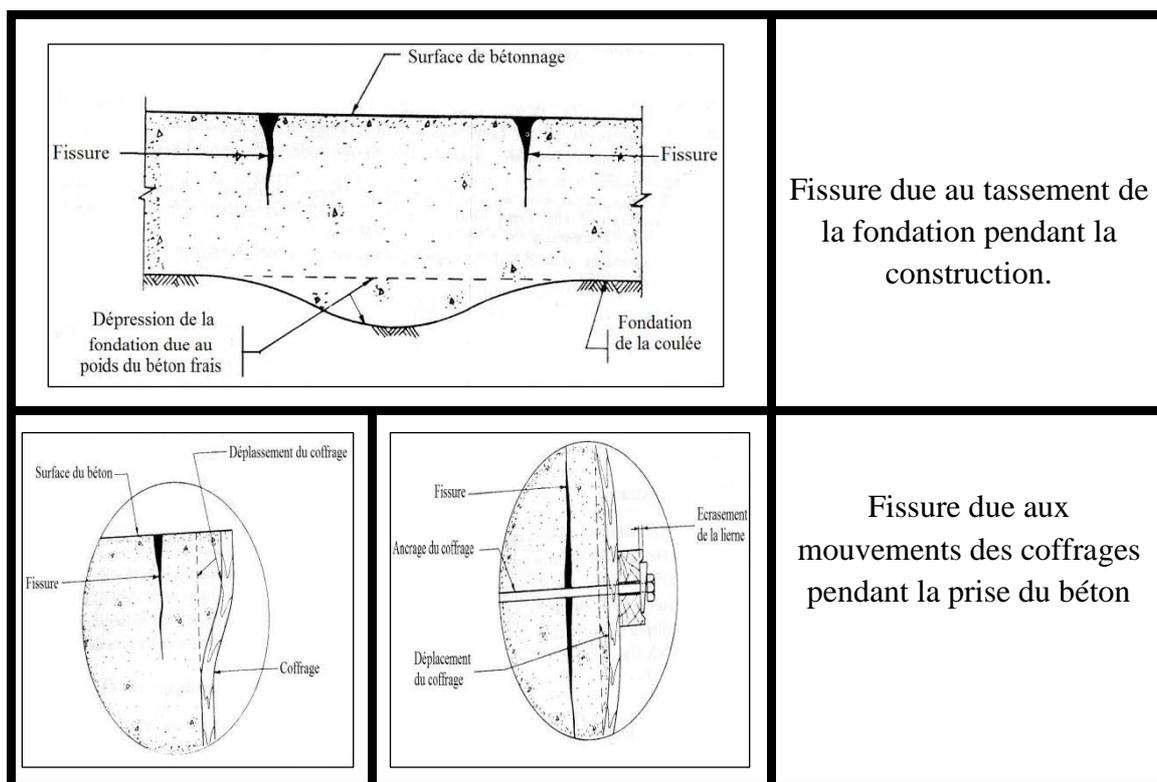


Figure 18 : Quelques exemples des Défauts d'exécution [52]

- Mauvaise disposition des armatures : le manque de recouvrement des armatures est probablement le défaut le plus courant, et l'insuffisance d'enrobage mène tout droit vers la corrosion des aciers qui crée ensuite des fissures parallèles aux armatures, des épaufrures et des éclats.
- Mauvaises conditions de transport du béton frais : les mauvaises conditions de transport peuvent remettre en cause la qualité obtenue à la fabrication en favorisant la ségrégation du béton (variation dans la répartition des éléments), ou en provoquant un raidissement du béton par un départ d'eau résultant d'un délai de livraison trop long ou d'une température extérieure trop élevée.
- Mauvaise mise en œuvre du béton : une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité, une ségrégation qui peut nuire à la résistance du matériau, et même des défauts de bétonnage particulièrement dangereux lorsqu'ils affectent le talent des poutres précontrainte par post-tension. ces vibrations peuvent aussi être dues à la circulation des véhicules, au battage de pieux, à des tirs de mines, à un compactage par vibration, ou à une vibration accidentelle causée par des chocs.
- Mauvaise manutention d'éléments lourds en béton (exemple des voussoirs préfabriqués de ponts en béton précontraint) peut provoquer des épaufrures et même des cassures de parties appartenant à l'élément (comme les clés d'assemblage).
- Mauvaise étanchéité : ce facteur qui se rencontre encore parfois sur les ponts est un élément favorisant de manière importante la dégradation du béton . elle facilite l'apparition d'efflorescences et de stalactites consécutives à une dissolution de la chaux, ainsi que la pénétration d'agents agressifs et son corollaire : la corrosion des aciers.
- Ces vibrations importuns peuvent être dues à la circulation des véhicules, au battage de pieux, à des tirs de mines, à un compactage par vibration, ou à une vibration accidentelle causée par les heurts de l'outillage, ou par choc , cette vibration peut nous resautes des fissures produites pendant la prise du béton.

I.3.14 Défauts de chaussées [29], [10]

Les différentes types des défauts de chaussée et les causes probables de leurs apparitions

Tableau I3 : Les différentes types des défauts de chaussée et les causes probables de leurs apparitions.

Dégradations	Causes
Fissurations	Pour les structures souples : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mauvaise qualité des matériaux. ✓ Mauvaise mise en œuvre. ✓ Epaisseur insuffisante de la chaussée par rapport au trafic. ✓ Retrait (couche de base traitée au ciment) ✓ Age de la chaussée. Pour les structures rigides: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Absence du joint dans le sens axial. ✓ Mauvaise composition du béton.
Epaufrement de rive	Dégradation des marches d'escalier <ul style="list-style-type: none"> ✓ Action de l'eau. ✓ Compactage insuffisant des rives (enrobés). ✓ Largeur insuffisante de la chaussée.
Déformations <ul style="list-style-type: none"> ➤ Affaissement longitudinal suivant l'axe. ➤ Affaissement longitudinal de rive. ➤ Orniéage à grand rayon ➤ Bourrelet longitudinal ➤ Bourrelet transversal ➤ Flache ➤ Tôle ondulée 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stabilité insuffisante du revêtement (enrobés). ✓ Insuffisance de la stabilité d'enrobés. ✓ Fatigue de la chaussée causée par une circulation lourde et lente. ✓ Eau : perte de portance du corps de chaussée. Matériaux: qualité insuffisante. ✓ Mise en œuvre : compactage insuffisant. ✓ Trafic : passage des véhicules trop lourds pour l'épaisseur de la chaussée. ✓ Fluage des enrobés sur toute la surface dans les zones de freinage. ✓ Défaut de portance localisé (poche d' argile humide). ✓ Perte de cohésion localise de la couche de base. ✓ Tassement différentiel du matériau ayant servi au rebouchement du nid de poule. ✓ Manque de stabilité d'enrobés. ✓ Insuffisance d'épaisseur ou de compacité du

	tapis d'enrobé.
Arrachement <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pelade ➤ Nid de poule ➤ Plumage ➤ Peignage 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualité insuffisante des matériaux de chaussée. ✓ Arrachement des matériaux lors du passage des véhicules. ✓ Stade final de faïençage ou d'une flache. ✓ La perméabilité de la couche de roulement. ✓ Un mauvais accrochage (enduit). ✓ Un sous-dosage en bitume (enrobé). ✓ Mauvais fonctionnement du matériel de répandage <p>lors de la mise en œuvre de l'enduit, qui se traduit par un manque de liants ou de gravillons.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre par conditions atmosphériques défavorables.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Désenrobage ➤ Décollement 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Attaque du liant « hydrocarboné » par un produit chimique (Argile, sel ...) ✓ Mauvaises conditions d'exécution (surface humide). ✓ Gonflement ou retrait des matériaux de la couche de base.
Remontées <ul style="list-style-type: none"> ➤ Remontées d'eau et d'argile ➤ Ressuage 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perte de cohésion au sein d'une chaussée fondée sur un sol argileux ou gorgé d'eau. ✓ Dosage en liant trop élevé. ✓ Liant non adapté. ✓ Utilisation d'un liant mou ou (et) la présence d'une forte chaleur.
Usures de la surface de revêtement <ul style="list-style-type: none"> ➤ Glaçage ➤ Tête de chat 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usure des gravillons de revêtement sans qu'ils soient arrachés (utilisation des granulats polissables). ✓ Enfoncement des gravillons dans le support (lors des fortes chaleurs le liant et le mortier recouvrent en totalité les gravillons). ✓ Disparition partielle des matériaux en surface par usure.

I.4 LES DEGRADATIONS

I.4.1 La Fissuration

I.4.1.1 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

I.4.1.2 Mécanismes de Formation des Fissures [42] [48]

A) Fissuration gouvernée par des contraintes de traction :

On a deux étapes à distinguer :

- 1) Une microfissuration se développe au sein du matériau.
- 2) Les microfissures se connectent pour créer une ou plusieurs macro-fissures, c'est une phase de localisation de la fissuration.
- 3) Les macro-fissures se propagent, conduisant à la rupture du volume du matériau considéré.

B) Fissuration gouvernée par des contraintes de compression

On a trois étapes encore à distinguer :

- 1) 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.
- 2) Les microfissures se rejoignent pour former des macro-fissures, toujours orientées parallèlement à la direction de la sollicitation, délimitant ainsi des « colonnettes ».
- 3) 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.

I.4.1.3 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.

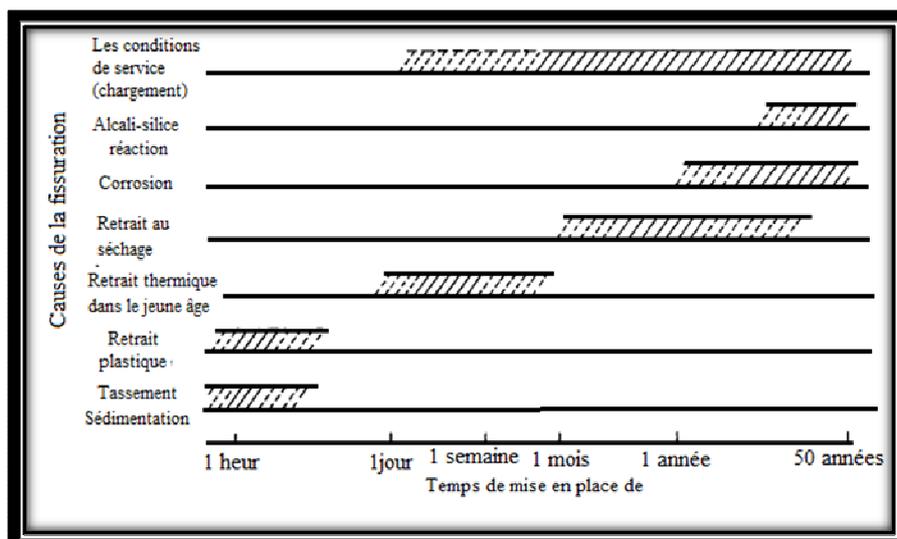


Figure I.19 : Age d'apparition de fissures à partir mise en place de béton [11].

- La morphologie des fissures

✓ **Le tracé:** Le tracé d'une fissure se définit par son orientation et sa longueur mesurable sur l'ouvrage. L'orientation est souvent révélatrice de son origine, lorsque la fissure est continue sur l'axe de l'orientation, elle est dite fissure franche, lorsque l'axe d'orientation est défini par plusieurs fissures successives, elle est dite discontinue.

✓ **L'ouverture:** On définit l'ouverture d'une fissure par l'ouverture maximale relevée sur le tracé.

✓ **La profondeur:** on distingue

- Une fissure traversant : lorsqu'elle est visible sur deux faces de la structure.
- Une fissure aveugle : si elle est supposée traversant mais bouchée sur la face non accessible de la structure (exemple fissure d'un mur de soutènement) elle est souvent d'ouverture importante.
- Une fissure dite de surface : si l'ouverture est maximale en surface et s'annule au sein du matériau.

- **L'activité:** L'activité caractérise la variation dimensionnelle de l'ouverture de la fissure dans le temps.

- Une fissure est dite morte : si l'ouverture reste constante quelles que soient les variations de températures ou de charges.
- Une fissure active : si l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs tels que température, charges, vibrations, hygrométrie ...etc. [9]
- L'ouverture moyenne d'une fissure active est la demi-somme de l'ouverture min et max.

I.4.1.4 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.2**

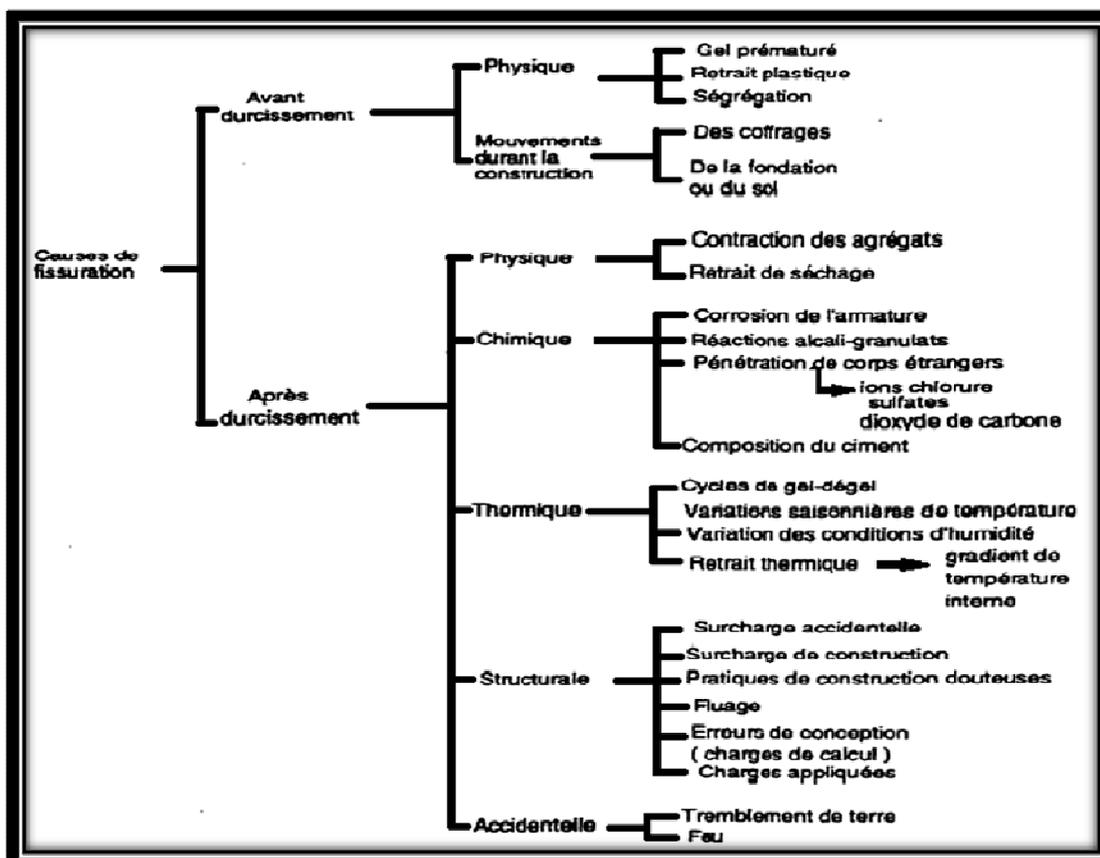


Figure I.20 : les différentes causes de fissuration [32]

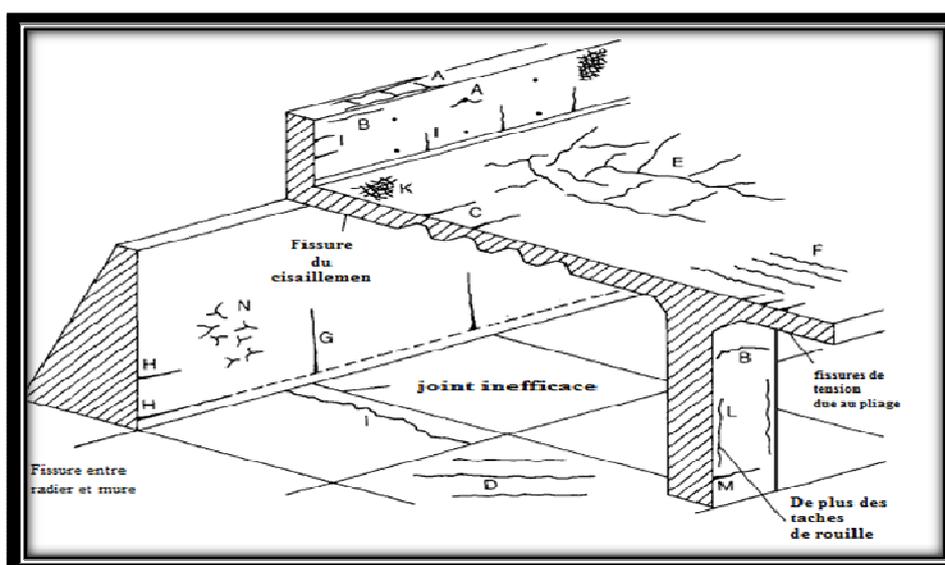


Figure I.21: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage. [11]

Tableau I.4 : Causes des différentes sortes de fissurations et les Précautions pour les 'éviter [11]

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	Dessiccation du béton plus armatures en surface			
	F	Proximité des armatures	Dalles armées				
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 alcaligranulaire	N		Les emplacements humides	granulats réactifs plus ciment alcalin		Eliminer les causes de réaction	

I.4.1.5 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

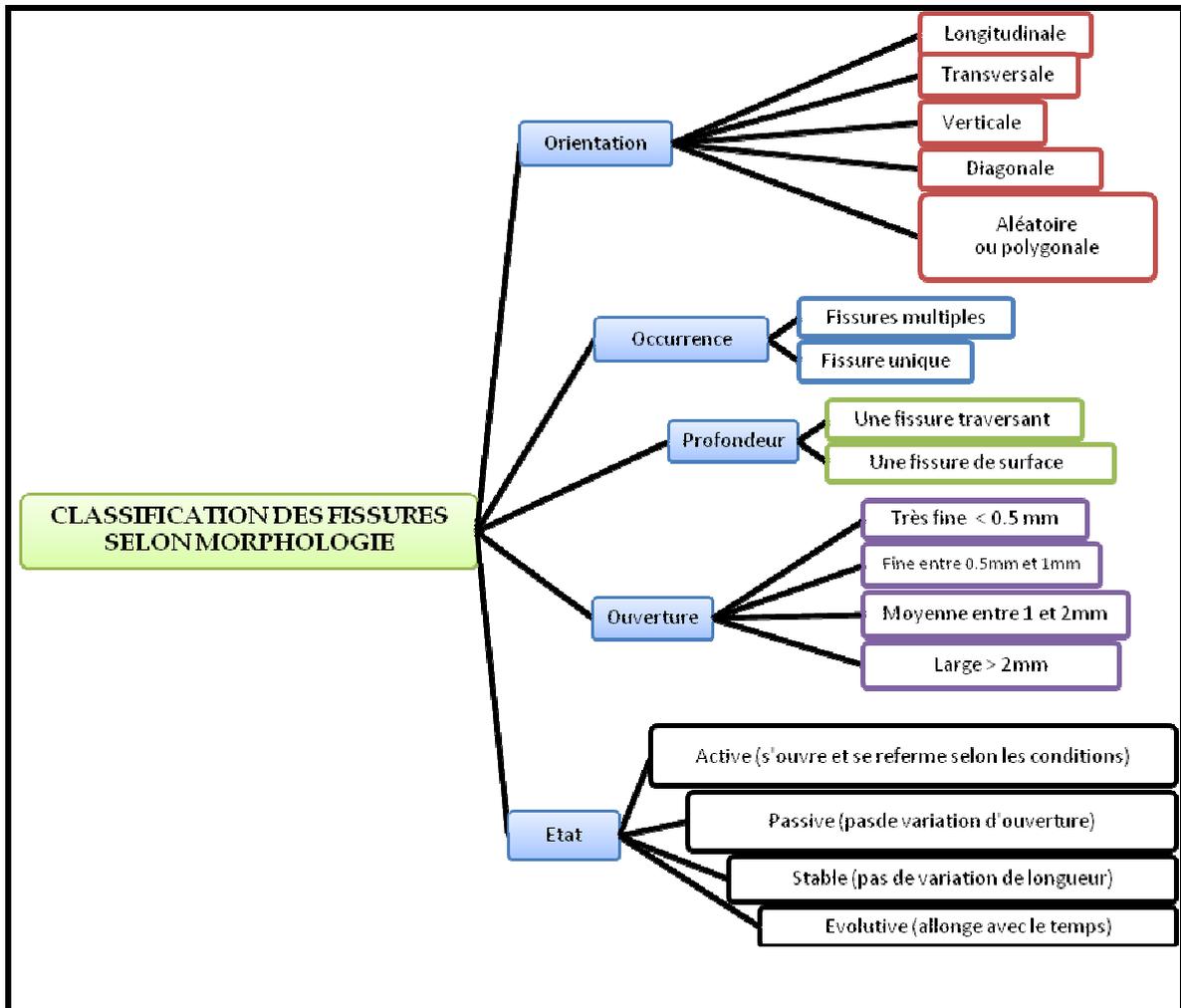


Figure I.22: Classification des fissures selon leur Morphologie [32]

I.4.2 Autres Désordres

a) 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 contaminée.

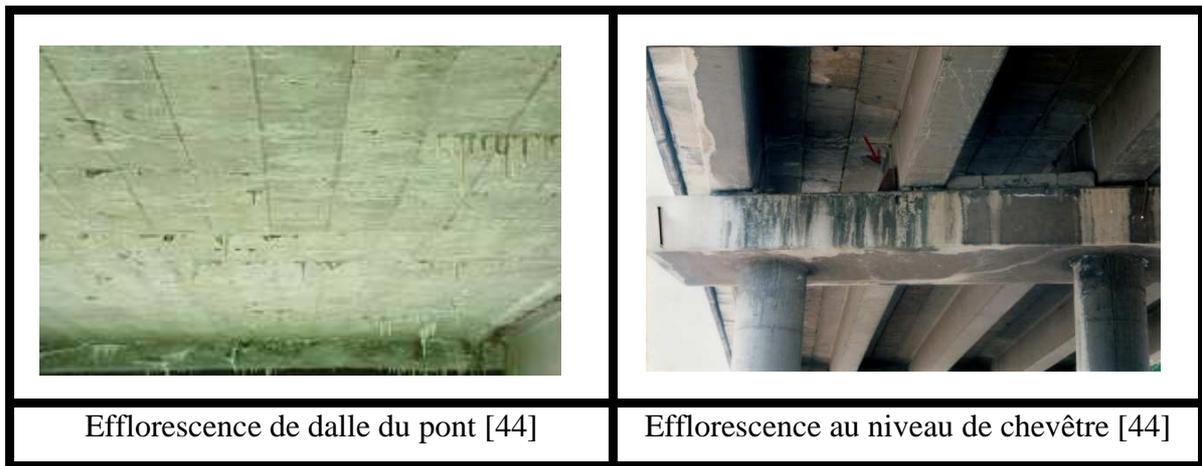


Figure I.23: Efflorescence.

b) Les épaufrures

Elles correspondent à un éclatement du béton avec chute de fragments, laissant souvent les armatures apparentes. Les épaufrures sont généralement la suite logique d'un écaillage ou elles ont provoqué par des ondes de choc.

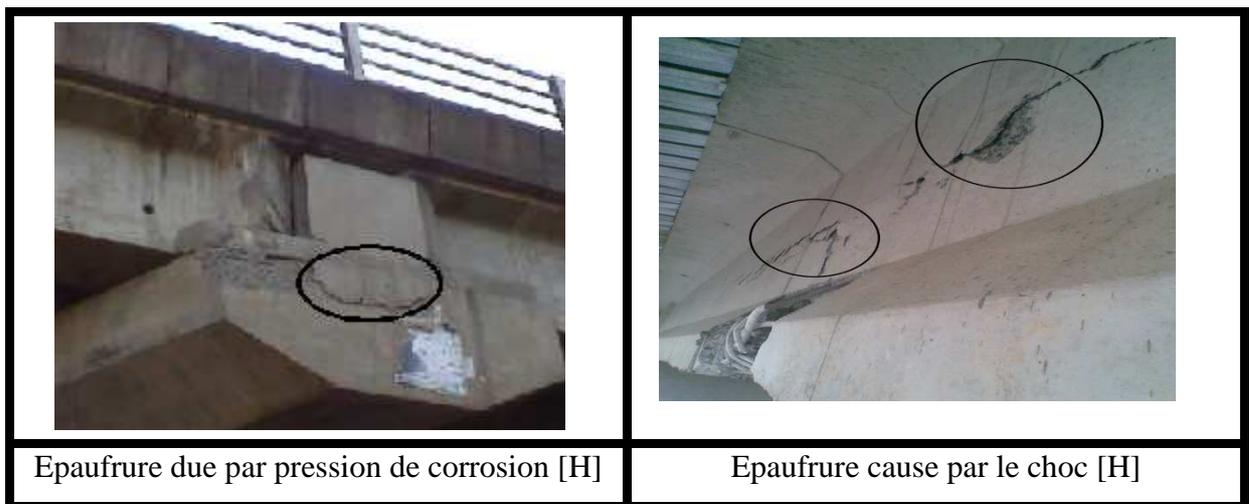


Figure I.24: Les épaufrures.

c) 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 déglaçant. 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.

d) 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.

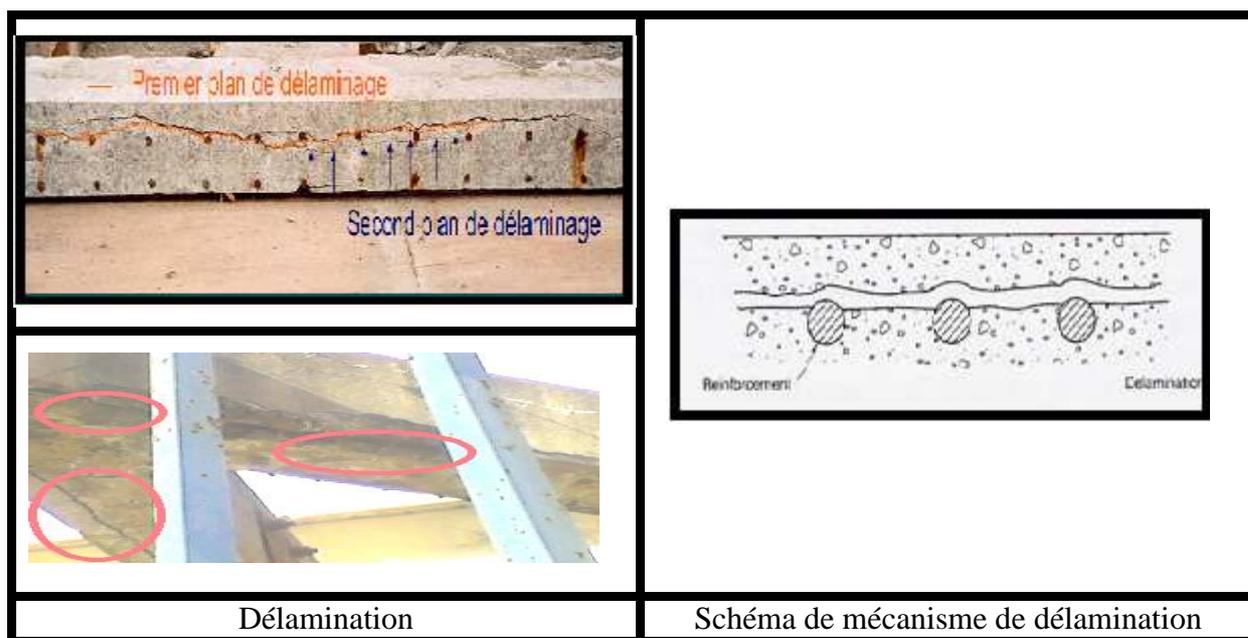
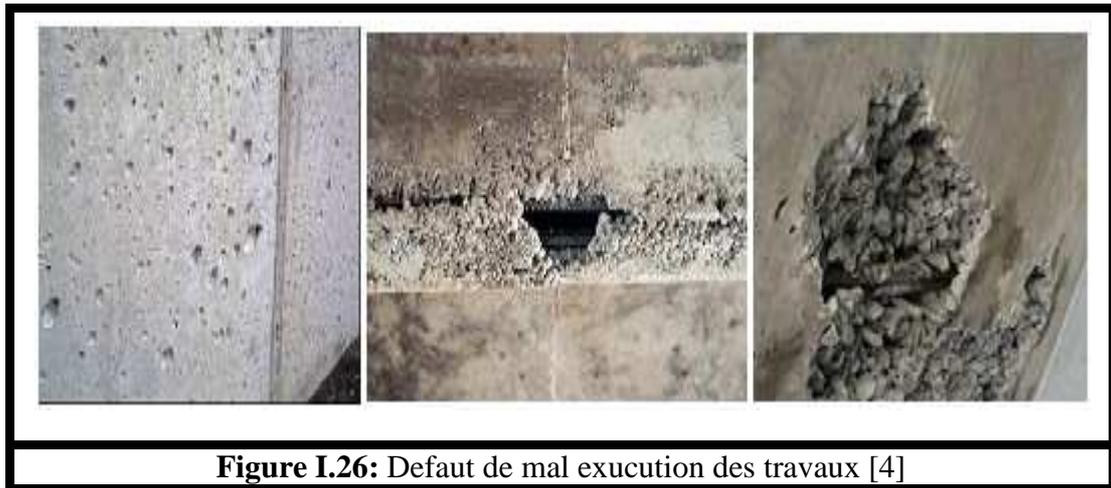


Figure I.25: Délamination.

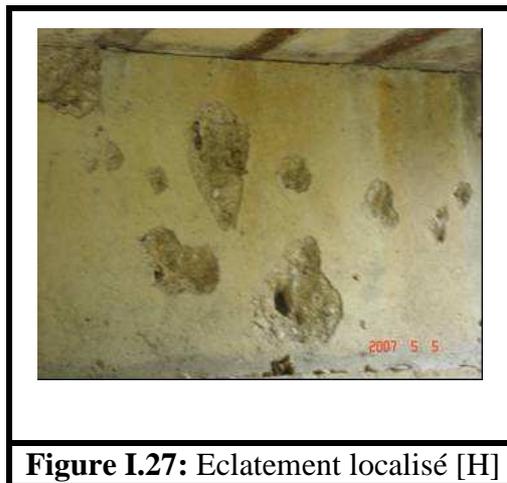
e) Défauts de construction

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.



f) Eclatement localise

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.



g) 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.

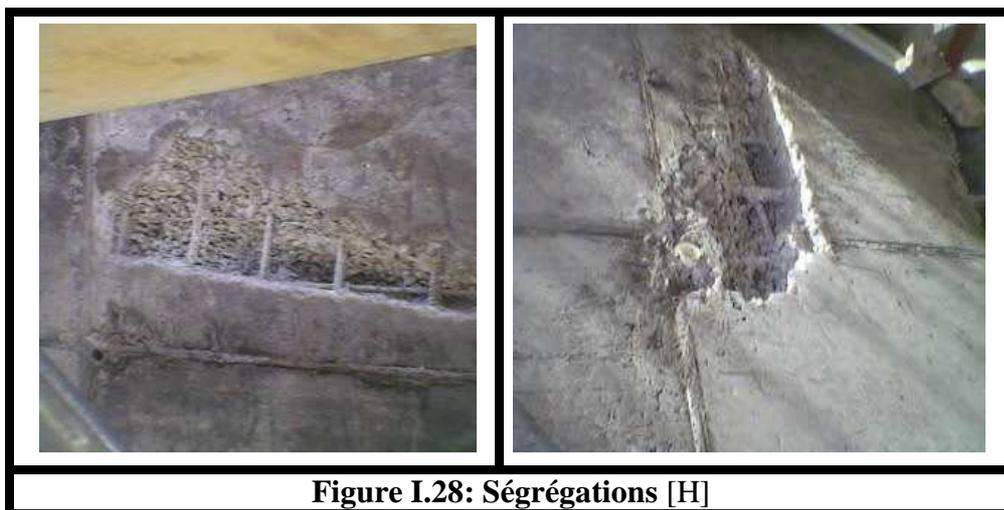


Figure I.28: Ségrégations [H]

h) La désintégration

Désorganisation de la peau du béton pouvant se poursuivre par une destruction avancée du béton d'un élément de l'ouvrage, et parfois assimilable à un pourrissement du matériau.

En fin Le tableau suivant montre les principaux symptômes de la dégradation du béton :

Tableau I.5 : Les principaux symptômes de la dégradation du béton [52]

	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

Conclusion

On à vue dans ce Chapitre que tous les mécanismes de dégradation des matériaux et perte de performance ou de comportement sont dues par plusieurs facteurs qu'on ne peut pas les maîtrisés tous, donc *la notion de la structure parfaitement durable c'est une notion irréalisable*, cette vulnérabilité des structures nous exige à faire recourt a 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.

CHAPITRE II

Méthodes De Diagnostic Et Investigation

II.1 INTRODUCTION

On entend par surveillance, toute visite ou inspection visant à déceler tout dysfonctionnement ou dégradation au niveau des éléments ou des parties de l'ouvrage.

La surveillance des ouvrages est destinée à tenir à jour une connaissance suffisante de son état de dégradation, afin de permettre d'effectuer dans un délai adéquat, les opérations nécessaires d'entretien ou de remise en état ,ainsi, le suivi d'évolution des désordres détectés dans un ouvrage (dégradation par corrosion ou autres) est fondamental dans l'efficacité de ces actions. de ce fait, l'inspection des ouvrages dégradés constitue une étape importante dans l'évaluation des conditions d'état et dans la définition des éventuels travaux de réparation.

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 usager. 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.).

Dans une réparation ou d'un confortement, le diagnostic a pour but de bien définir les travaux à réaliser. Le traitement des désordres demeurera en effet pérenne puisque ciblé sur leurs origines et leurs conséquences. Cette optimisation des travaux de pérennisation, tant du point de vue qualitatif que quantitatif, est naturellement source d'importantes économies pour le maître d'ouvrage.

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

Les informations nécessaires pour mettre en application une surveillance rigoureuse à un Ouvrage se répartissant de la façon suivante :

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 admissibles 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 recherchées en quatre catégories selon leur nature ou leur origine :

- **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. [44]

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 construisait 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 :

- A) **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[61] ;
- B) **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 admissibles, ou du gabarit, ou de la largeur utile[61].

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: 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. 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 5.2 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).

Tableau II.2: Inspection visuelle – Classification simplifiée de dommages **ACI**. [3]

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, décamètre, 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 Buts de l'inspection visuelle

L'inspection visuelle sert à :

- **Qualifier**

Un désordre spécifique à une origine et des conséquences particulières. La qualification permet de savoir à quel désordre on est confronté et donc quel type de traitement/réparation est à mettre en place.

- **Localiser**

La position d'un désordre sur l'ouvrage donne des indications sur son degré d'importance et son origine. En outre, la localisation permet de cibler d'emblée les zones à traiter de manière urgente et de choisir les travaux en fonction des contraintes d'accès.

- **Quantifier**

Ceci a pour but de connaître l'étendue des désordres et donc d'évaluer les méthodes les plus adaptées pour effectuer les réparations.

- **Comparer**

Une comparaison de l'état de l'ouvrage 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.

II.4.2 Inspections Détaillée

Elle est réalisée par un organisme spécialisé. C'est une inspection qui est menée avec soin et dans le détail, en employant 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

Dans l'inspection détaillée, il est utilisé les moyens d'accès spécifiques pour accéder à toutes les parties d'ouvrage avec tout l'outillage nécessaires 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. La périodicité de ces inspections ou visites est en moyenne de cinq (05) ans jusqu'à dix (10) ans, si l'ouvrage ne présente pas de dégradation, elle est réduite à une (01) ou à deux (02) années pour le cas d'ouvrages spécifiques. Cette visite sera sanctionnée par un procès-verbal ou rapport de visite 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.

L'inspection détaillée peut se faire sur :

II.4.2.1 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.

II.4.2.2 Une auscultation approfondie

D'éléments ou parties d'ouvrage, 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, évaluer les efforts et contraintes.

II.4.2.3 Une surveillance renforcée

Lorsque l'auscultation ne permet pas de répondre à certaines questions qui se posent sur l'état de l'ouvrage, ou lorsqu'il y a possibilité de remplacement de l'auscultation, on recourt au suivi de l'évolution de certaines dégradations par des examens fréquents et des mesures périodiques, pendant une certaine durée (une année au minimum).

II.4.2.4 Une haute surveillance[7]

Est une mesure d'exception, destinée à surveiller l'apparition ou à suivre l'évolution d'un état considéré comme dangereux et à permettre de prendre en temps utile toutes les dispositions nécessaires pour maintenir la sécurité.

L'objectif fondamental de la haute surveillance est d'assurer une sécurité permanente, compte tenu de l'utilisation qui sera faite de l'ouvrage avant réparation. Un deuxième objectif est de suivre l'évolution réelle des désordres, pour qu'il puisse en être tenu compte dans le projet de réparation.

II.4.2.5 Inspection des dommages [22]

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 cette cas dépend de la gravité et l'étendue des dégâts. Si les dommages significatifs 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 spécifiée liées à la nécessité de restrictions de charge ou de fermeture.

II.4.2.6 Inspection détaillée particulières

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

- a) Suite à des circonstances anormales : Crues, glissement de terrain, passage de convois exceptionnels, défaillance imprévue, désordre occasionné par choc, séisme, ...etc.
- b) A l'occasion de la mise en service d'un ouvrage neuf ou d'un ouvrage ayant subi des travaux de confortement ou de réhabilitation.
- c) 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 souffle, 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 [34]

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.

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.

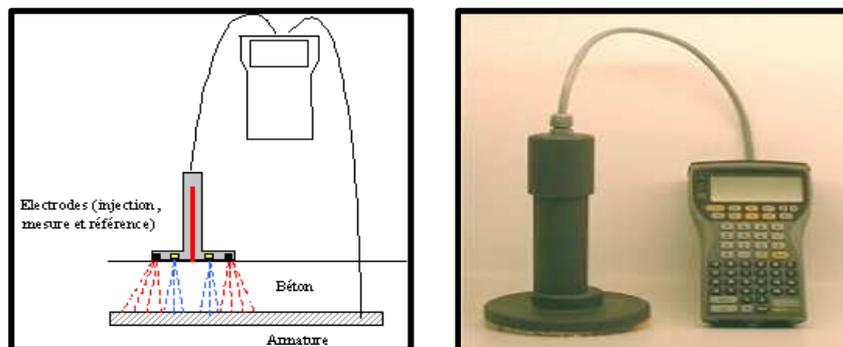


Figure II.1: Le GALVAPULSE de la Société Germann-Instrument.[34]

b) Les Méthodes Optiques [44]

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 :

Laphotogrammétrie, 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 [16]

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.

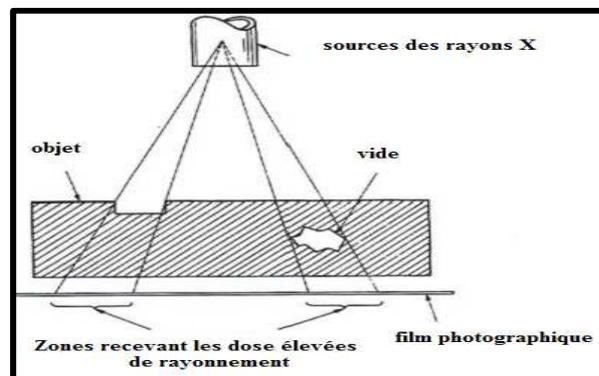


Figure II.2: Principe de la radiographie. [16].

d) Émission acoustique [17]

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.

Tableau II.3 : Exemples des essais utilisés au cours des inspections [3]

Méthode	Principe de l'opération	Applications	User expertise	Avantages	Limitations
émission acoustique (Clifton et al.1982)	La surveillance continue des structures au cours du service, détecter l'imminence d'échec; contrôle la performance de la structure	Lors de croissance des fissures ou des déformations plastique, la libération rapide de l'énergie de déformation produit des ondes acoustiques (du son) qui peut être détectée par des capteurs en contact avec ou attaché à la surface de l'objet testé	Une connaissance approfondie nécessaires pour la réalisation d'essai et l'interpréter les résultats	Surveillance structurelles en fonction des charges appliquées; capable de localiser possibilité de défaillance ; l'équipement est portable et facile à utiliser, Efficace pour les essais de charge	-Essais coûteux, -Peut être utilisé que lorsque la structure est chargée et en cas ou on a un Croissance des dégradations ; -L'interprétation de résultats requis un expert; -Actuellement largement limitée aux laboratoires; -Expérience limités, -Nécessite des autres travaux.
l'impact acoustique (Clifton et al.1982)	Utilisé pour détecter décollement, délaminations, les vides et les microfissures	Surface de l'objet est frappé avec un outil. Les caractéristiques de fréquence et d'amortissement du bruit résultant donnant une indication de la présence de défauts, l'équipement peut varier d'un simple marteau ver une remorque équipée par un matériel électronique sophistiquée	Faible niveau d'expertise requis pour utiliser le système auditif, mais le système électronique nécessite une formation	L'équipement portables, facile à se produire avec le système auditif; dispositif électronique nécessite plus de matériel	La géométrie et la masse de l'objet teste influant sur les résultats ; normes de référence nécessaire pour les tests électroniques
carottage (ASTM C42)	Détermination directe de la résistance du béton ; L'évaluation du type, condition et la qualité du béton, des agrégats, du ciment et d'autres composants	Réalisation de carottage ; les essais peuvent être effectués sur les carottes pour déterminer la résistance à la compression et à la traction, les propriétés de torsion, le module d'élasticité etc.	Un soin particulier pour éviter l'endommagement des carottes pendant l'opération du carottage ; niveau modéré de l'expertise nécessaires pour tester et évaluer les résultats	La méthode la plus acceptée pour déterminer la force la fiabilité, et la qualité des bétons coulés sur place. Elle est bonne pour examiner les fissures des armatures intégrées et pour l'échantillon pour tests chimiques	Carottage des structures, dommages et réparations peuvent être nécessités des Essais destructifs
Gamma Radiography (Malhotra1976)	Lieu d'estimation, la taille et l'état des barres d'armature; voir dans le béton, la densité	Basé sur le principe que le taux d'absorption des rayons gamma est affectée par la densité et l'épaisseur de l'éprouvette; les rayons gamma sont émis par la source, pénètre l'échantillon, sortie sur la face et sont enregistrés dans le dossier	L'utilisation de rayons gamma la production d'isotopes est étroitement contrôlée par le CNRC, les équipements doivent être exploités par des inspecteurs agréés	Défauts internes peut être détectée; applicables à la variété des matériaux; enregistrement permanent sur le film; appareils à rayons gamma facilement portable	L'équipement est cher; source de rayons gamma est la santé et la sécurité; nécessite un accès aux deux côtés de l'éprouvette
scléromètre (ASTM C805)	Compare la qualité du béton de différentes zones de l'échantillon, les estimations de la résistance du béton en fonction des courbes d'étalonnage avec une précision limitée	Printemps de masse conduit surface de frappe de béton et de la distance de rebond est donnée dans les valeurs de R; dureté de surface est mesurée et la force est estimée à partir des courbes d'étalonnage fourni par le fabricant de marteau	simple à utiliser, peut être facilement exploité par le personnel de terrain	L'équipement est léger, simple à utiliser et peu coûteux, grande quantité de données peut être rapidement obtenue; bon pour la détermination de l'uniformité du béton et du stress force potentiellement faibles	Résultats affectés par l'état de la surface de béton; ne donne pas de prévision précise de la force; estimations de la force doit être utilisée avec grand soin; étalonnage fréquent des équipements est nécessaire.

1.4.4.2 La Pertinence de l'utilisation d'une méthode d'END

Pour les caractéristiques géométriques, pour la caractérisation physique et le diagnostic d'état du matériau, pour la détection d'objets et de défauts, et pour la caractérisation mécanique du matériau ou de l'ouvrage

Tableau II.4 : Pertinence de l'utilisation d'une méthode d'END [5]

		Technique utilisée																
		US	IE	EA	OS	TO	RAD	CAP	BF	IR	RHO	PC	VC	□/X	PHG	FRA	HOL	SHE
Géométrie	Épaisseur	C ¹ B ²	A				A							A ²				
	Repérage d'armatures						B A ³		A ³		A ³			A				
	Diamètre d'armatures								A					A				
État du matériau	Teneur en chlorures						C				C							
	Profondeur de carbonatation	C			C													
	Taux d'humidité	C			C		B	A		B	B	C						
	Porosité	C			C	C					C	C						
Objets/défauts	Corrosion d'armatures			B								B	A					
	Profondeur et étendue du délaminage avec accès par une seule face	C	A	B ⁴	C		B			A ⁵ B	B						C	C
	Microfissuration	C		B ⁴	C	C				C	B							
Mécanique	Macro fissure visible	B		A ⁴	C					C	B				C		C	C
	Résistance en compression	C	C		C	C												
	Module d'élasticité en petites déformations (module d'Young)	A	A		A ⁶	A												

1si accès par une seule face, 2si accès par les deux faces, 3si l'enrobage est faible, 4si le défaut est évolutif, 5étendue du délaminage, 6module de cisaillement G.
 US = ultrasons, IE = impact écho, EA = émission acoustique, OS = onde de surface, TO = tomographie acoustique, RAD = radar, CAP = capacitif, BF = méthodes basse fréquence, IR = thermographie infrarouge, RHO = résistivité, PC = potentiel de corrosion, VC = vitesse de corrosion, □/X = radiographie, PHG = photogrammétrie, FRA = projection de franges, HOL = holographie, SHE = shearographie.

Représente la pertinence de l'utilisation d'une méthode d'END en fonction du paramètre recherché. Pour chacune des techniques et en fonction de la pertinence de l'utilisation de la méthode, une évaluation est fournie sur la base d'un simple indice A, B ou C. Ainsi, l'indice A indique une notion de « bonne pertinence » au regard du critère étudié, alors que l'indice C révèle un niveau de difficulté rencontré important, voire une incompatibilité ou une impossibilité théorique ou pratique.

II.4.5 Choix des méthodes d'essai

La sélection détaillée des méthodes d'essai sera basée 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 Couplage Des Essai

II.4.7.1 Définition

Toutes les méthodes d'essai qui sont disponibles pour l'évaluation de béton souffrent de limitations, et la fiabilité est souvent remise en question, donc l'utilisation successive, combinée ou simultanée de deux ou plusieurs méthodes peut aider à surmonter certaines de ces difficultés, ainsi que l'information fournie par le couplage sera alors plus riche que la simple somme des informations fournies par chaque méthode

II.4.7.1 Objectif

Les principaux objectifs visés lors de l'utilisation de couplage des essais peuvent être :

- La confiance sera beaucoup augmentée si les résultats et les conclusions sont conformes à partir des méthodes différentes.
- Les combinaisons des méthodes sont largement utilisées dans les situations où une méthode est considérée comme un préalable à l'autre
EX : Pour évaluer l'emplacement des armatures on utilise des méthodes simples non destructifs afin d'évaluer l'endroit le plus intéressant pour les essais les plus coûteux ou dommageable
- La précision des estimations faites sur les paramètres mesurés, de façon à conforter des résultats, à diminuer l'incertitude sur les mesures
- La rapidité d'obtention des conclusions de telle sorte que par le couplage, certaines hypothèses puissent être levées

Les tableaux suivants présentent les différents types d'évaluations du béton ainsi que les types des essais nécessaires

Tableau II.5 : Couplage des essais pour l'évaluation des propriétés du béton.[3]

	Impact acoustique (tableau 1.3)	Essai pourcentage des vides (ASTM C457)	teneur en ciment (ASTM C1084)	Essais chimiques tests de base	Mesures de potentiel électrique (tableau 1.3)	Les mesures de résistance électrique (Table1.3)	Essais flexion (ASTM C42)	Essais de gel-dégel (ASTM C666)	Gammagraphie (tableau 1.3)	Hygromètre nucléaire (tableau 1.3)	Essai de perméabilité (CRD C48)	L'analyse pétrographique (ASTM C856)	Essai d'arrachement (ASTM C900)	scléromètre (ASTM C805)	Impulsions ultrasoniques (ASTM C597)	Résistance à la pénétration (ASTM C803)
L'acidité				?								?				
Teneur en air		?										?				
Réaction Alkali-carbonate												?				
Réaction Alkali-silice												?				
Teneur en ciment			?	?								?				
Composition chimique				?								?				
La teneur en chlorures				?	?							?				
Résistance à la compression					?								?	?	?	?
Propreté des agrégats				?								?				
Propreté d'eau de gâchage				?								?				
Environnement corrosif				?		?										
Fluage					?											
Densité					?				?							
Allongement					?											
Composants congelés												?				
Module d'élasticité					?										?	
Module de rupture					?		?									
Teneur en humidité					?	?				?						
Perméabilité											?	?				
Résistance à l'arrachement													?			
Qualité des' agrégat												?				
Résistance aux gel et dégel					?			?				?				
Rigidité					?				?			?				
Résistance traction par fendage					?											
Résistance aux sulfates				?								?				
Résistance à la traction					?		?									
Homogénéité	?											?		?		?
Rapport ciment/Eau												?				

Tableau II.6 : Couplage des essais pour l'évaluation des conditions physiques du béton. [3]

	Émissions acoustiques (tableau 1.3)	L'impact acoustique (tableau 1.3)	Essais chimiques	Tests de base (ASTM C42)	Fibre optique (tableau 1.3)	Gammagraphie (tableau 1.3)	La thermographie par infrarouge (tableau 1.3)	Essais de chargement (ACI 437R)	L'analyse pétrographique (ASTM C856)	mesure physique	Radar (tableau 6.3)	scéléromètre (ASTM C805)	Impulsions ultrasoniques (ASTM C597)	Ultrasons écho d'impulsion (tableau 1.3)	L'examen visuel (ACI 201.1R, ASTM C823)	Résistance à la pénétration (ASTM C803)
Exsudation								?							?	
dégradation chimique			?					?							?	
La corrosion des aciers			?	?				?						?		
Fissuration	?	?		?	?		?	?	?	?	?	?	?	?	?	
Propriétés et épaisseur des sections				?		?				?			?			
Délamination		?		?	?	?	?	?			?		?	?	?	
Décoloration			?					?						?		
Désintégration				?			?	?		?			?		?	
La Distorsion															?	
Efflorescence			?					?							?	
L'érosion								?							?	
Gel-dégel								?							?	
Nid d'abeilles				?	?	?	?	?					?		?	
Eclatements localise															?	
Piquage															?	
Ecaillage				?		?	?								?	
Stratification		?			?									?	?	
Les performances structurelles	?							?							?	
Uniformité du béton					?			?			?	?			?	?

Tableau II.7 : Couplage des essais pour l'évaluation des propriétés de l'acier d'armature. [3]

	Émissions acoustiques (tableau 1.3)	L'analyse chimique (ASTM A571)	Essais des enduits (ASTM A775, G12, 14,20)	mesure d'enrobage	Mesures de potentiel électrique (tableau 1.3)	Gammagraphie (tableau 1.3)	Gammagraphie (tableau 1.3)	Les mesures physiques	Essais de traction (tableau 1.3)	Ultrasonique(cho(table 1.3)	L'inspection visuelle
Adhérence des revêtements d'époxy			?								
ancrage							?				
essai de pliage							?				
résistance à la rupture								?			
La teneur en carbone		?									
la composition chimique		?	?								
Propriétés du revêtement		?									
Enrobage du béton	?			?		?	?	?			
Continuité de revêtement époxy			?								
corrosion					?		?				?
Propriétés et épaisseur de section.							?				
déformations							?				?
allongement								?			
exposition											?
Situation d'armature	?			?		?	?	?			
striction									?		
forme							?				
Résistance des assemblages							?				
résistance à la traction								?			
Epaisseur du revêtement époxy			?								
la résistance des Soudure au cisaillement							?				
élasticité								?			

II.4.8 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 comprise 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[40].

L'évaluation des résultats des inspections visuelles s'appuiera fortement sur les compétences et le jugement subjectif de l'ingénieur effectuant l'inspection.

II.4.9 L'évaluation

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, le type et l'état physique de la structure, l'intégralité de la conception et la disponibilité des documents, et la force et la qualité des matériaux de construction existants.

Évaluations structurelles doivent être effectuées pour déterminer la capacité de charge de tous les éléments structuraux et la structure dans son ensemble. La capacité de la structure à supporter toutes les charges exposent.

II.4.9.1 Dimensions et géométries

Les dimensions réelles de la structure et disposition architectural devraient être effectivement évalué, à cet effet des opérations de sondages peuvent être appliqués pour réaliser les mesures (ex : épaisseurs de certaines parties comme les hourdis en béton) ,ainsi que les écarts entre les dimensions mesurés sur le terrain et ceux indiqués sur les dessins disponibles doivent être évaluées.

II.4.9.2 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.

II.4.9.3 **Evaluation structurale**[3]

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.

Le choix de la méthode d'évaluation dépend de facteurs tels que la nature de la structure et la quantité d'informations connues au sujet de son état actuel. Les choix typiques sont:

1) *L'évaluation par l'analyse* : la méthode la plus courante, est recommandée lorsque l'information suffisante est disponible sur les caractéristiques physiques, les propriétés du matériau, l'aspect structurelle, et les charges auxquelles la structure a été ou elle sera soumis.

2) *L'évaluation par l'analyse et test de charge à pleine échelle,*

3) *L'évaluation par l'analyse et la modélisation structurelles* (ACI 437R).

Ces deux sont recommandées dans le cas des conception complexe et le cas de manque d'expérience concernant le système structural ;dans cet cas l'évaluation est faite uniquement par des méthodes analytiques fiables, ou lorsque la nature de désordre actuelle introduit une incertitudes importante sur la richesse des paramètres nécessaires pour effectuer une évaluation analytique, ou lorsque la géométrie et les caractéristiques du matériau des éléments de structure en cours d'évaluation ne peut pas être facilement déterminée.

Les composants structurels, parties de jonction (les nœuds) doivent être identifiés par l'évaluation basée sur l'examen des documents, la dimension et de vérifier la géométrie, l'évaluation du matériel. Les capacités des composantes structurelles doivent être déterminées de préférence par la méthode de génération de force, méthodes sophistiquées telles que des éléments finis

Toutes les charges existantes (permanentes), surcharges, charges de l'équipement et les charges exigé par les règlements appliqués telle que le vent et charge dynamique de séisme doit être envisagée et utilise dans analyses. Le cas échéant, les éléments non structuraux doivent également être évalués pour s'assurer qu'ils sont capables de résister aux charges prescrites et des déformations. L'effet d'éléments non structuraux sur la performance globale de la structure devrait également être envisagé.

II.4.9.4 Evaluation de la cause

C'est de loin l'étape la plus difficile et la plus importante de tout. Il n'est pas possible d'évaluer l'importance des réparations à faire ni de choisir les meilleures méthodes de réparation si la causes des dommages n'est pas connue. 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[47].

Comme il n'était pas possible de déterminer lequel des quatre agents était responsable des dégâts on choisit une méthode de réparation qui empêchât toute détérioration ultérieure par l'un quelconque d'entre eux. Les résultats obtenus donnèrent entière satisfaction. Toutefois le fait de n'avoir pas pu isoler la cause eut pour conséquence que le coût de la réparation fut sensiblement plus élevé que ce qu'il aurait pu être si la cause avait été déterminée avec précision. C'est ce que se produit en général, et pour des raisons d'économie il est bon de s'efforcer autant que possible d'identifier la ou les causes probables des dégâts avec précision. A cet égard il convient de remarquer si l'on ne réussit pas à déceler la cause des dommages on peut être amené à choisir une méthode de réparation qui soit nuisible plutôt que salutaire. Il n'existe pas de règles ni de méthodes toutes faites pour déterminer la ou les causes de dégradation. Chaque cas pose un problème particulier et doit faire l'objet d'un diagnostic particulier. Toutefois l'expérience permet de dégager un certain nombre de schèmes de principe[47].

Par exemple les fissures dans les murs dues aux tassements des fondations se forment en général en diagonale. La pâte de ciment d'un béton soumis à l'attaque de sulfates a un aspect blanchâtre et terne caractéristiques. Les fissures dues à la corrosion des armatures forment des lignes droites parallèles équidistants et laissent apparaître des traces de rouille.

On apprend aussi très vite où il faut chercher la corrosion dans les ouvrages métalliques et où les poutres en bois sont susceptibles de pourrir. En général, pourtant, le diagnostic est difficile à faire et il faut se contenter de savoir parfaitement ce qui peut se détériorer, éliminer les causes possibles de difficultés jusqu'à ce que la bonne solution apparaisse. Il conviendra d'étudier.

II.4.9.5 Evaluation des coûts

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 sélectionné et la faisabilité économique d'ensemble du projet. Une plus détaillée des coûts de réhabilitation doivent être documentées, en tenant compte de la localisation du projet et le travail existantes et disponibles et des entrepreneurs 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. Dans le cas où les coûts estimés dépassent le budget disponible, un autre cycle de réductions possibles doit être étudié. Le programme de réhabilitation définitive peut alors être modifié et approuvé par le propriétaire, qui doivent être informés que les coûts réels peuvent être déterminés qu'après une préparation de documents contractuels détaillés (plans et devis) et après l'obtention d'offres fermes d'entrepreneurs. Si le coût de la mise à niveau est déterminé à être excessif, d'autres utilisations possibles de la structure devrait être étudié, ou une recommandation faite à la poursuite de son utilisation actuelle ou pour l'élimination de son utilisation.

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 operation 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 tres grande importance, constitue la base nécessaire pour le choix d'une procedure 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.

CHAPITRE III

Matériaux Et Méthodes De Réparations

III.1 INTRODUCTION

La dégradation des ponts c'est un état qui influe directement sa fonctionnalité, ses caractéristiques géométriques, sont aspect d'art, une influence qui nécessitera une intervention rapide sur l'ouvrage afin d'améliorer et maintenir ses aspects.

Les méthodes et techniques de réparations sont très élaborées et de plus en plus variées, leur utilisation demande un savoir-faire et une maîtrise sans failles des moyens de plus en plus sophistiqués. Le choix d'une technique de réparation est fonction de sa faisabilité, des délais nécessaires, des couts directs (démolition, réparation et travaux provisoires) et des couts indirects (déviation de la circulation, incidence, ...etc.).

III.2 Pour Quoi La Réparation

Au départ, l'état général des ouvrages d'art se révèle bon « *un pont récemment construit est en bon état* » mais décroît régulièrement par insuffisance d'entretien, en générale l'ouvrage laissé à l'abandon finit par être en mauvais état, Par le déficit d'entretien de patrimoine, le processus de dégradation des ouvrages s'est accéléré plus que le service et la sécurité de certains d'entre eux est devenue douteux. Leur coût de rénovation va augmenter avec le retardement d'intervention, ce qui aura pour conséquence de générations aux futures des dépenses qu'elles ne pourront pas être supportables. Les ouvrages d'art, pour la plupart déjà anciens et conçus selon des normes ancien aujourd'hui sont dépassées, ne souffrent pas seulement d'un important déficit d'entretien, mais également d'une usure conséquente liée à un trafic de plus en plus lourd, de plus en plus dense et à une forte progression des agressions chimiques. A terme, sans intervention conséquente, des limitations de charges pourraient être introduites et des fermetures d'axes routiers pourraient purement et simplement être rendues nécessaires par le manque de sécurité par rapport aux normes en vigueur. Contrairement à d'autres, cette demande de crédit ne concerne pas des opérations d'entretien constructif, chargé de remédier à un manque d'entretien courant, mais doit permettre des opérations d'assainissement et de renforcement d'ouvrages, situations qui se présentent nécessairement à un moment ou à un autre dans la vie de telles infrastructures.

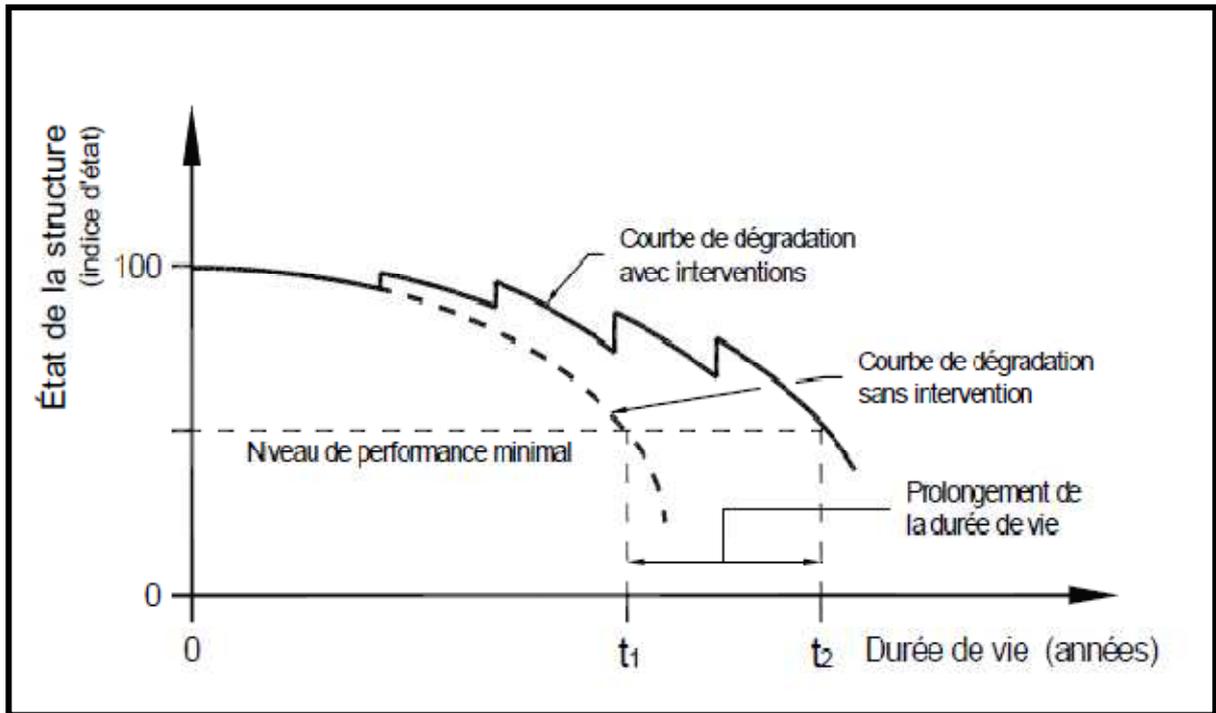


Figure III.1: Courbes de dégradation d'une structure [37].

Donc en générales on applique des réparations pour les raison suivantes

1. restaurer et augmenter la force;
2. restaurer et augmenter la rigidité;
3. améliorer les performances fonctionnelles;
4. fournissent 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.3 Déférénts Types D'entretien

On distingue trois 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, finisher, compacteurs, ...etc.

Ce genre d'opérations d'entretien, qui mettent en œuvre des moyens particuliers et parfois spécifiques, est réalisé généralement par des entreprises spécialisées.

III.4 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, des matériaux et des pratiques reconnues. Donc on peut définir cette étape comme une décision multicritères, dans laquelle on vise le choix et la combinaison entre les méthodes et les matériaux jugée techniquement faisable pour atteindre efficacement le but poursuivi par les opérations de réparations avec le moindre coût.

III.4.1 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 climatique 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 jugée techniquement faisable.

III.4.2 Les matériaux de réparation

III.4.2.1 Bétons Conventionnels [51]

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 physico-chimiques (module élastique, coefficient de dilatation thermique) sont similaires à celles du béton existant.

III.4.2.2 Les latex [15]

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 [15]

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 organique 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 suint pas – du moins dans les conditions d'emploi ordinaires

• Application [52]

a) Collage des fissures ou de portions de béton détachées

Théoriquement si une zone de béton s'est détachée de la masse de l'ouvrage, il est possible de la recoller en enduisant les deux surfaces en contactes du composé adhésif ; et en les assemblant ensuite. Dans la pratique, cette méthode est généralement trop onéreuse, et on remplace

d'habitude la partie épaufrée par du béton neuf en utilisant un composé de collage à base de résine.

b) Réparation des surfaces épaufrées [52]

On peut utiliser la résine pour faire adhérer une réparation de béton de ciment Portland, ou même utiliser cette résine comme liant du béton servant à la réparation.

Quand on a besoin d'un faible volume de matériau ; quand il s'agit de réparer des sections de faible épaisseur, ou quand l'ouvrage doit être remis en service avant que le béton ait eu le temps de durcir, on ne peut pas faire appel au béton de ciment classique et il faut utiliser le composé organique comme liant. Dans les autres cas, il est moins onéreux de faire appel au béton classique et de le coller à l'ouvrage existant avec un enduit de résine adhésive.

III.4.2.3 Les Matériaux Composites

III.4.2.3.1 Définition

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 constitue par :

III.4.2.3.2 Les Charge [17]

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.4.2.3.3 Les Matériaux De Renfort [17]

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%.

Tableau III.1 : Caractéristiques des fibres de renfort.[17]

Renforts	Diamètre du filament (µm)	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Module d'élasticité longitudinal (MPa)	Module de cisaillement (MPa)	Coefficient de Poisson	Contrainte de rupture (traction) MPa	Allongement à rupture %	Coefficient de dilatation thermique °C ⁻¹
	d	Mv	E	G	k	C _r	A	α
Verre E	16	2 600	74 000	30 000	0,25	2 500	3,5	0,5*10 ⁻⁵
Verre R	10	2 500	86 000		0,2	3 200	4	0,3*10 ⁻⁵
Carbone HM	6.5	1 800	390 000	20 000	0,35	2 500	0,6	0,08*10 ⁻⁵
Carbone HR	7	1 750	230 000	50 000	0,3	3 200	1,3	0,02*10 ⁻⁵
Kevlar 49	12	1 450	130 000	12 000	0,4	2 900	2,3	-0,2*10 ⁻⁵
Bore	100	2 600	400 000			3 400	0,8	0,4*10 ⁻⁵
Silicate d'alumine	10	2 600	200 000			3 000	1,5	
Polyéthylène		960	100 000			3 000		

III.4.2.3.4 La Matrice :

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.4.3 Les Méthodes de Réparation

III.4.3.1 Remplacement Du Béton Altéré [32]

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 brossage, 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.4.3.2 Adjonction d'armatures complémentaires [57]

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.

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.

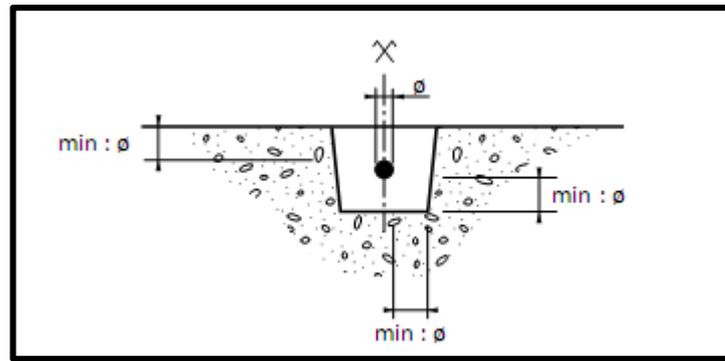


Figure III.2: Armatures supplémentaires en engravure
(Celle-ci pouvant être en sous face) [57] .

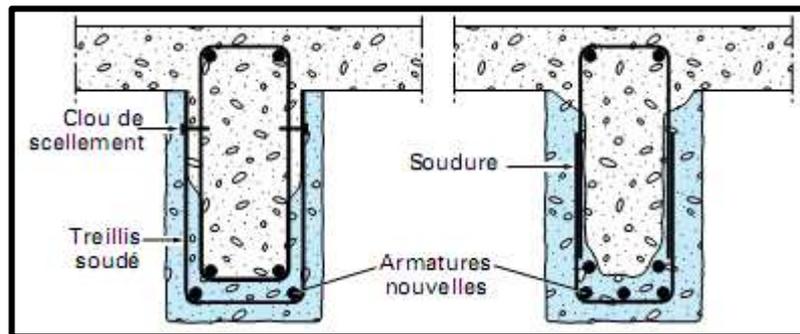


Figure III.3: Armatures supplémentaires en surépaisseur de poutre. [57]

III.4.3.3 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.4.3.3.1 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 (**Figure III.4-a**). Le principal avantage de ce procédé est l'automatisation complète du système de pose (figure b). 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.

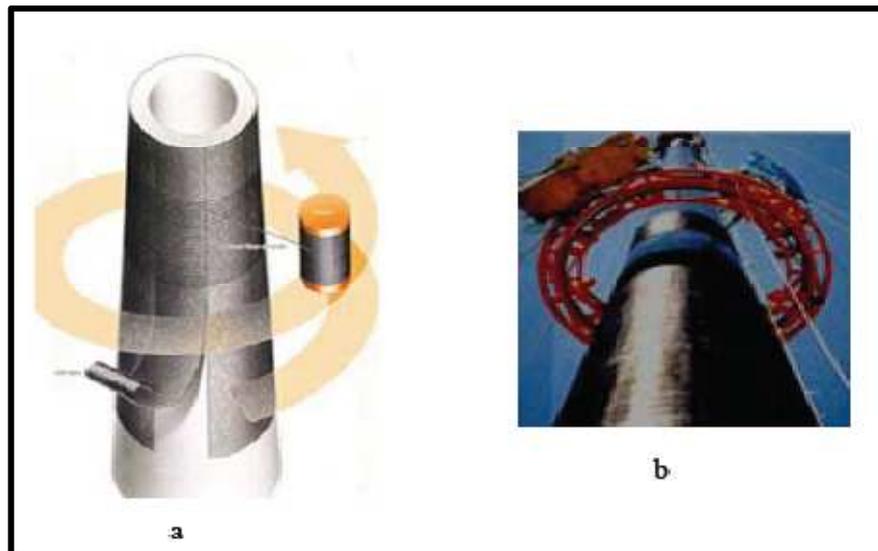


Figure III.4 Les principes de l'enroulement [52]
 a) principe de l'enroulement filamentaire, b) enroulement automatisé

III.4.3.3.2 Mise en œuvre par stratification directe de tissus sec [52]

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, en respectant les étapes suivantes (Figure III.5) :

- ❖ 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.4.3.3.3 Le collage de plaques composites [52]

Les plaques composites sont des produits finis présentés sous forme de bandes ou de jons, 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 (**Figure III.6**) :

- ❖ 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.



FIGURE1. PROCEDE PAR COLLAGE DE PLAQUES (SIKA, 1996)

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

III.4.3.4 Le Renforcement Au Moyen Des Profiles Métalliques [21]

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.

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.

L'inconvénient majeur de cette méthode de renforcement tient à la précision qui est requise lors du mesurage de la structure existante, si les éléments fournis se positionnent correctement au montage.

Il est recommandé d'envisager des possibilités d'ajustement et de positionnement des pièces métalliques pré-forées vis-à-vis de forages dans le béton, lors du montage, contrairement aux constructions métalliques nouvelles.



Figure III.7: Renforcement De Poteaux Au Moyen De Profiles Métallique. [21]

III.4.3.5 Béton Projeté

Il existe deux techniques principales de projection du béton, dont la différence principale réside dans la chronologie des opérations élémentaires [56]

a) 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.

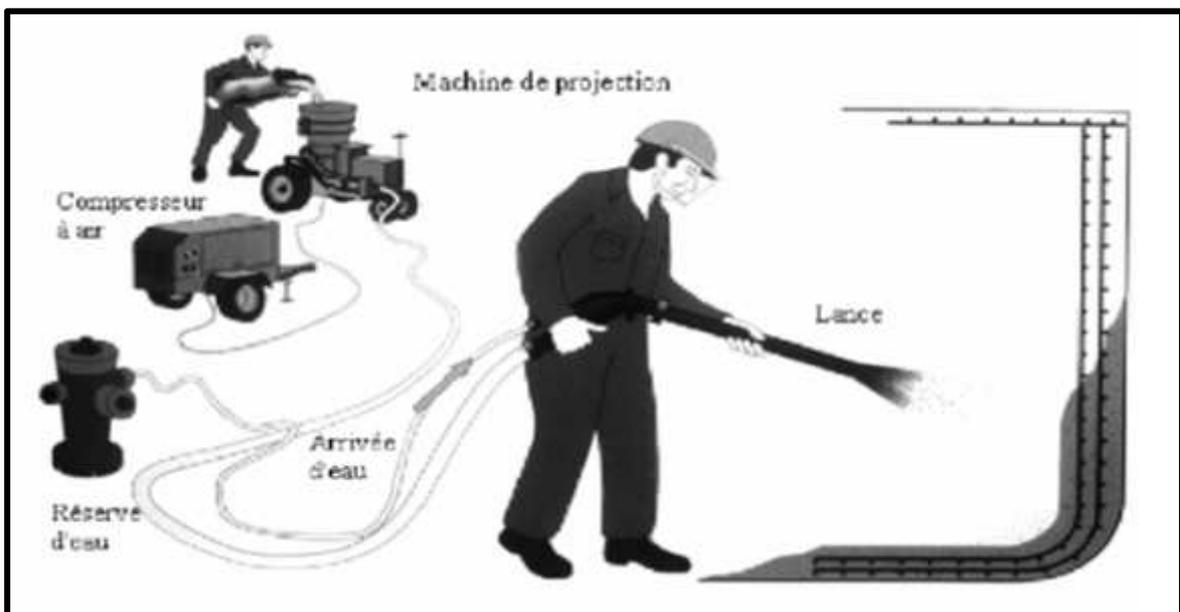


Figure III.8: Projection Par Voie Humide.

b) 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.

Le malaxage de l'eau et des matériaux secs se produit dans la lance et au contact de la surface. La **Figure III.9** présente 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. En effet, comme le contact du ciment et de l'eau ne se fait qu'à la lance, il n'y a aucune prise possible dans l'appareillage si la production du béton est interrompue. Des résistances élevées peuvent être facilement obtenues avec ce procédé puisqu'il permet d'atteindre de faibles rapports eau/liant.

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.

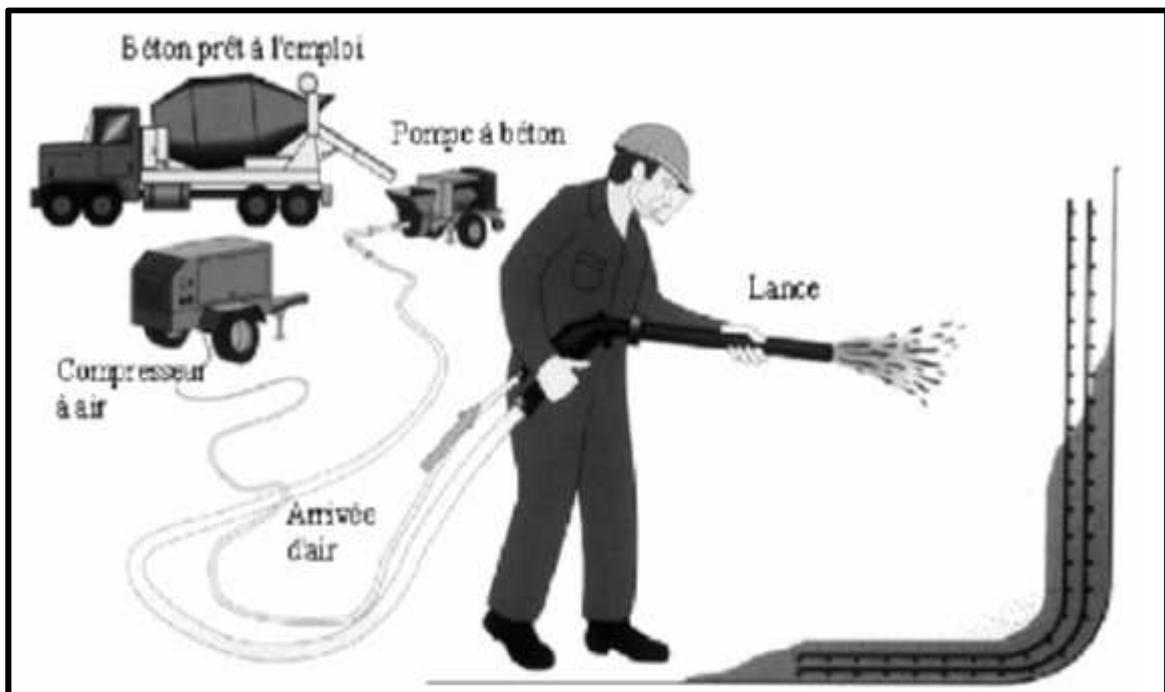


Figure III.9: Projection Par Voie Sèche.

III.4.3.6 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 ce diffère suivant Le tracé de précontrainte utiliser qui peut être rectiligne ou polygonal

- **Tracé rectiligne** [1]

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

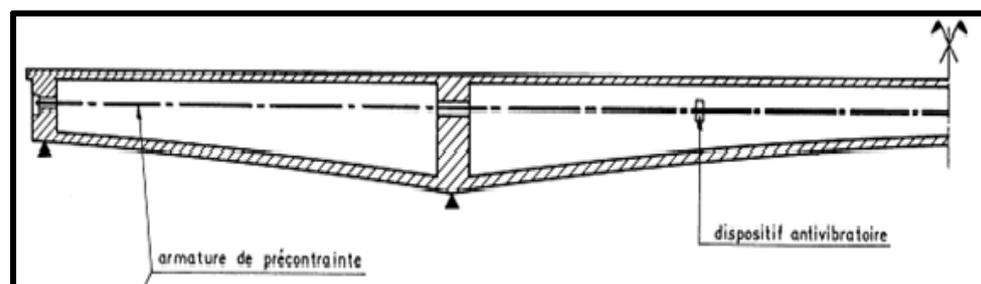


Figure III.10: Traces Rectiligne.

- **Tracé polygonal** [9]

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.

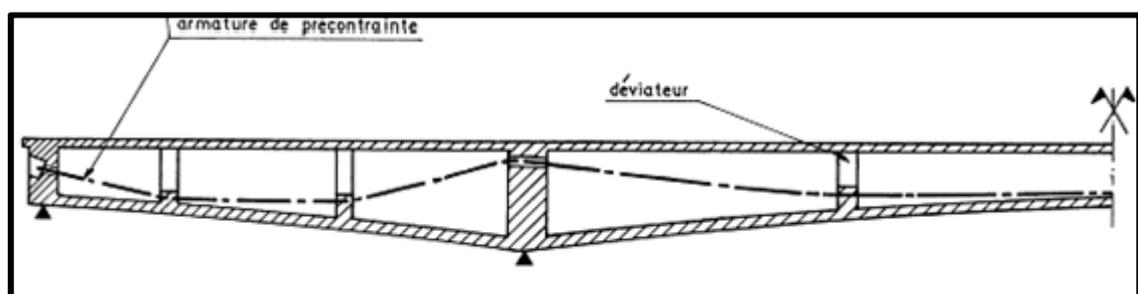


Figure III.11: Traces Polygonal.

III.5 Les Traitements Des Ouvrages

III.5.1 Ré-alkalinisation Du Béton Carbonate [22]

Le principe de protection électrochimique de réalcalinisation 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 réalcalinisation 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.

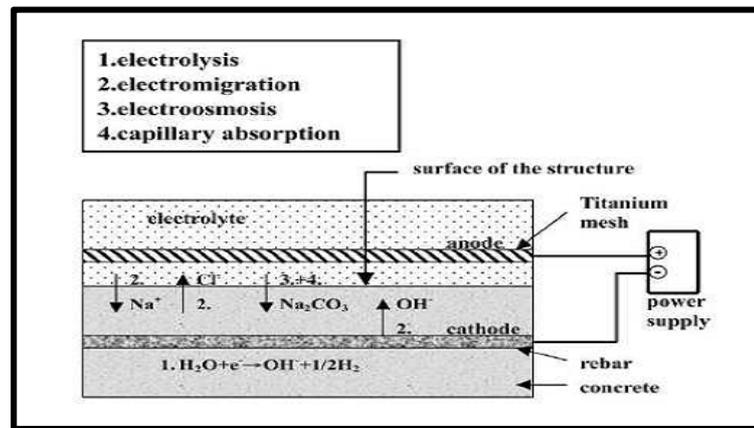


Figure III.12: Illustration Du Processus Electrochimique De Relatinisation.[16]

Pour effectuer cette technique, une solution basique ou alcaline est appliquée sur le parement de façon à pénétrer à l'intérieur du béton. La formation des OH^- à la surface de l'acier augmente aussi le pH dans cette zone.

Un électrolyte à base de carbonate de sodium est largement utilisé lors d'une application de cette technique. La pénétration de cet électrolyte à l'intérieur du béton peut être faite par diffusion, absorption capillaire et électro-osmose.

III.5.2 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** [53]

La technique d'extraction électrochimique des ions chlore, ou déchloruration, 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 extérieur (**Figure III.13**). 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.

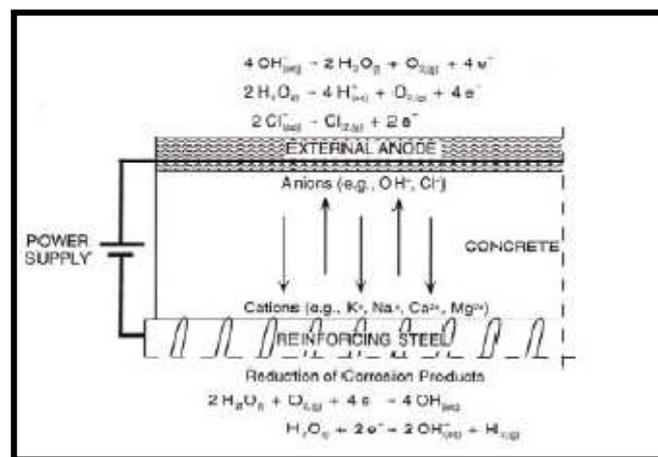


Figure III.13: Schéma D'application D'un Traitement d'ECE.[53]

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.5.3 La Protection Cathodique

- **Principe** [9]

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.

La polarisation est presque systématiquement obtenue grâce à une alimentation à base tension, en courant continue ou plus souvent redressé, dont le pôle négatif est relié à l'armature et le pôle positif à une anode placée à la surface du béton d'enrobage

- **Procédés de protection cathodique** [16]

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.6 Exemples Internationales Sur Les Actions De Réhabilitation Des Ponts :Tableau III.2 [5]

Cas N°	Membre	Dommmage	Problème - Causes	Mesures de réhabilitation
<i>Danemark</i>	Poutre	-Eclatement de la partie inférieure de la poutre latérale préfabriquée. -Corrosion des boulons des ancrages soutenant la poutre latérale. -Délamination	-Attaque par sels/Chlorures -Gel/Dégel -Mauvais drainage	Remplacement de l'ancienne poutre latérale préfabriquée par une poutre latérale coulée en place
<i>Norvège</i>	Pile	-Fissures dans le béton -Corrosion des armatures dans la -zone d'éclaboussures	Attaque par sels/Chlorures	Déchargement de la pile, élimination de la couche d'enrobage en béton par hydro démolition, mise en place de nouvelles armatures et remplacement de la couche d'enrobage en béton
<i>Royaume Uni</i>	Appuis et fondation	Fissures et corrosion des armatures dans le béton Délamination	Attaque par sels/Chlorures Mauvaise exécution	Réparation de surface avec du béton de polymère et couche de protection avec peinture résistante aux chlorures
<i>Japon</i>	Tablier	Fissures dans le béton	Alcali-réaction	Injection d'époxy, étanchéité
	Piles	Fissures dans le béton, corrosion des armatures		Renforcement par tôles collée
<i>Japon</i>	Dalle du tablier	Fissures dans le béton / corrosion des armatures	Attaque par sels/chlorures, Mauvais drainage, Mauvaise exécution (défaut d'enrobage)	Remplacement du béton détérioré par hydro-démolition et nouveau mortier polymère coulé en place
<i>Italie</i>	Poutre	Dégradation importante du béton avec corrosion considérable des aciers	Attaque par sels/chlorure, Gel/Dégel, Attaque sulfatique, Carbonatation	Réparation de surface, injection d'époxy, étanchéité, et armatures additionnelles
	Appuis et fondation			Etanchéité, chemisage et renforcement par FRP
	Appareil d'appui	Fonction insuffisante		Remplacement de l'appareil d'appui
<i>Mexique</i>	Dalle du Tablier	Fissures dans le béton	Attaque par sels/chlorures Carbonatation sur chargement Mauvaise exécution	Injection d'Epoxy
	Appuis et fondation	Fissures dans le béton, Corrosion des armatures		Injection d'Epoxy

III.7 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 permettre d'économiser par ne pas recourir à la construction nouvelle.

DEUXIEME PARTIE

CHAPITRE VI

Maintenance et Réparation des Ouvrages d'Art cas de l'Algérie

VI.1 INTRODUCTION

Ce chapitre est composé dans son contenu en trois parties, dont chacune à un objectif vise. La 1^{ère} partie consiste à présenter le parc Algérien des ouvrages d'arts dans son développement et accroissement, ça hétérogénéité sur le plan technologie et matériaux utilisés, sont âge et état actuelle, on basant sur le recensement effectué par le MTP en 2006, dans la 2^{ème} partie nous avant essayer établir une liste des défauts et des causes les plus fréquemment rencontrés au niveau des ouvrages d'art situés dans la même wilaya par l'exploitation et analyse de 50 cas des ouvrages en état pathologiques, la 3^{ème} partie est destinée à discuter les différentes défaillances encourues dans la politique Algérienne de gestion des ouvrages d'arts afin de mettre des proposition et recommandation.

Partie 1 : Présentation Du Parc Des Ouvrages D'art En Algérie**VI.1.1 Présentation De L'Algérie****VI.1.1.1 Géographie Et Climat**

- **Situation** : L'Algérie est le plus grand des cinq pays composant le Maghreb (Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie et Libye), le plus grand pays d'Afrique et le neuvième dans le monde. Sa superficie est de 2 381 741 Km² Elle offre une façade maritime de 1 200 km bordant la mer Méditerranée. Son territoire pénètre le continent africain à travers le Sahara, jusqu'aux frontières du Mali et du Niger.

- **Relief** : Le relief de l'Algérie est constitué par deux chaînes de montagnes à peu près parallèles d'est en ouest qui découpent le pays en trois bandes offrant une grande diversité de paysages du nord au sud :

- ✓ **Le Tell** est une zone de plaines littorales bordées de côtes abruptes. Cette plaine est discontinue et présente une largeur variable de 80 à 190 km. Elle abrite, ainsi que les vallées attenantes, la majorité des terres agricoles du pays.
- ✓ **Les hautes plaines** consistent dans une zone steppique de moyenne altitude séparée du Sahara par l'Atlas saharien.
- ✓ **L'Atlas saharien** est une succession de chaînes de 500 à 2 500 m d'altitude, au caractère aride et désertique.
- ✓ **Le Sahara** est un désert de 2 millions de km². Il couvre 80% de la superficie de l'Algérie. Il se compose pour une grande part de plateaux rocheux et de plaines caillouteuses. Deux vastes régions de sable (le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental) constituent les principaux ensembles de reliefs dunaires du désert saharien.

- **Climat** : Le climat de l'Algérie est marqué par un conflit entre les influences de la Méditerranée et celles du Sahara. Les zones climatiques répondent à trois divisions traditionnelles, du nord au sud

- ✓ un climat méditerranéen, dans la zone littorale, et qui profite à presque tout le Tell. Il est caractérisé par des hivers doux et une longue période estivale chaude, tempérée par des brises de mer ;
- ✓ un climat continental de tendance steppique dans les Hautes Plaines;

- ✓ un climat désertique dominé par l'aridité, au Sud. Il est caractérisé par de grandes variations diurnes, une extrême sécheresse et parfois des pluies torrentielles. En été, le sirocco, un vent sec et chaud, souffle depuis le Sahara en direction du nord.

Les températures de la zone côtière oscillent entre 5 et 15°C en hiver et 25 à 35°C en été alors que dans le Sud la température peut atteindre 50°C à l'ombre.

La courbe de pluviométrie varie de 400 à 1 000 mm par an avec seulement 103 mm par an dans l'ensemble de la zone désertique.

Tableau IV.1 : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) des différentes régions d'Algérie, [2]

Région	Ouest (mm)	Centre (mm)	Est (mm)
Littoral	400	700	900
Atlas tellien	600	700-100	800-1400
Hautes plaines	250	250	400
Atlas saharien	150	200	300-400
Sahara	20-150	20-150	20-150

VI.1.1.2 La Consistance Du Réseau Routier En Algérie

Le réseau routier algérien a atteint, au premier semestre 2011, un linéaire Constitué de **112 696 Km** de routes et **4 910 ouvrages d'arts** assurant près de 90 % du volume des échanges, dont le plus important est enregistré sur le réseau économique de base. Cela reflète la prédominance du mode de transport routier par rapport aux autres modes.

Tableau IV.2 : La Consistance De Réseau Routier En Algérie.

Routes Nationales (R.N)	29 280 Km
Chemins de Wilayas (C.W)	23771Km
Chemins Communaux (C.C)	59645Km
Ouvrages d'Art (O.A)	4 910.O.A

VI.1.2 La Grande Activité Constructrice Entre 1994-2008

Pendant la période 1994-2008 environ 1198 ponts routiers ont été construits. Ces ouvrages représentant 25% du parc total à nos jours. Après examen, cette période peut être partagée en deux phases comme le montre la **Figure IV.1**.

Entre 1994-1999 : durant cette période, l'activité de construction peut être dite faible avec une moyenne de 37 ouvrages par an.

Mais à partir de l'année 2000 : l'Algérie a mis en œuvre une politique dont l'objectif consiste à moderniser ces infrastructures d'une part, et d'autre part à renforcer le réseau routier par la création de nouvelles Routes et Autoroutes que l'augmentation du volume du trafic et des charges roulantes a rendu nécessaire ; comme par exemple, le mégaprojet de l'autoroute Est-Ouest lancé en mars 2007, qui a permis d'enrichir le parc des ouvrages d'art par la création de 390 ouvrages d'art dont 25 viaducs et de 11 tunnels.

Cette politique a permis une croissance considérable d'activité de construction des ouvrages d'art trois fois plus que celle de la 1^{ère} période, le nombre de ponts réalisés est évalué à 107 ponts par an.

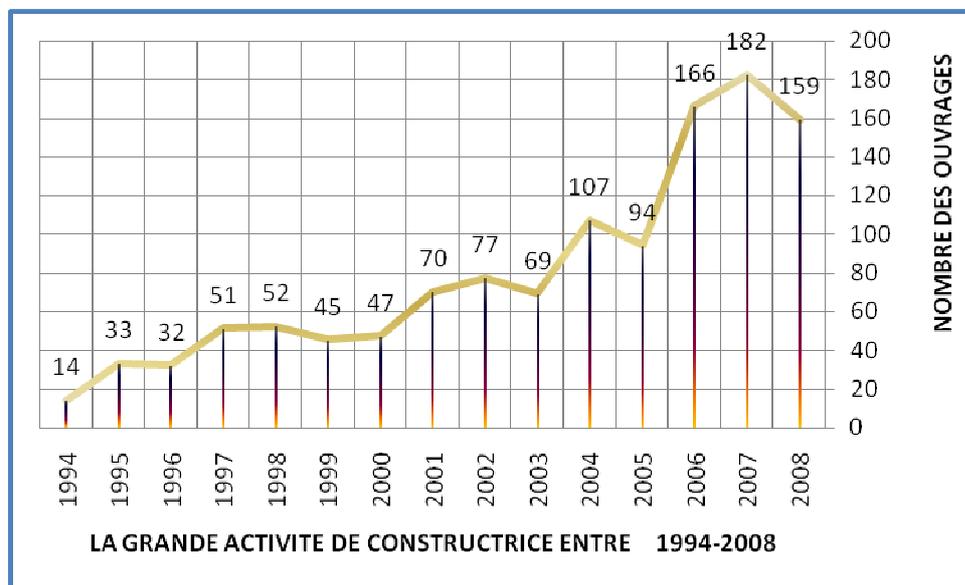


Figure IV.1: La Grande Activité Constructrice Entre 1993-2008.

A long terme, le Ministère des Travaux Publics projette un plus grand développement des infrastructures de base et l'accroissement du parc national des ouvrages d'art, par le biais du lancement du projet de la réalisation de **l'Autoroute des Hauts Plateaux** et les routes pénétrantes Nord-Sud permettant sa liaison avec **l'AutoRoute Est-Ouest**, ainsi que le projet de la **Transsaharienne**. Cet ambitieux programme de développement est basé sur les projections arrêtées par les Schémas Directeurs Routiers à l'horizon de l'an 2025.

VI.1.3 Le Patrimoine Des Ouvrages D'art

VI.1.3.1 Répartition des ponts par type de matériaux de superstructures

Dans sa constitution, le parc algérien a subi à des différentes étapes de développement de la technologie des ponts, et c'est tout naturel que fait un ensemble très hétérogène sur le plan typologie et matériaux utilisés. En résumé, le patrimoine des ponts sur routes nationales et chemins de wilaya les chemins communaux non compte, en 2006, environ 3992 ponts. Ses ponts se répartissent, par type de matériaux, comme la montre la figure ci-dessous :

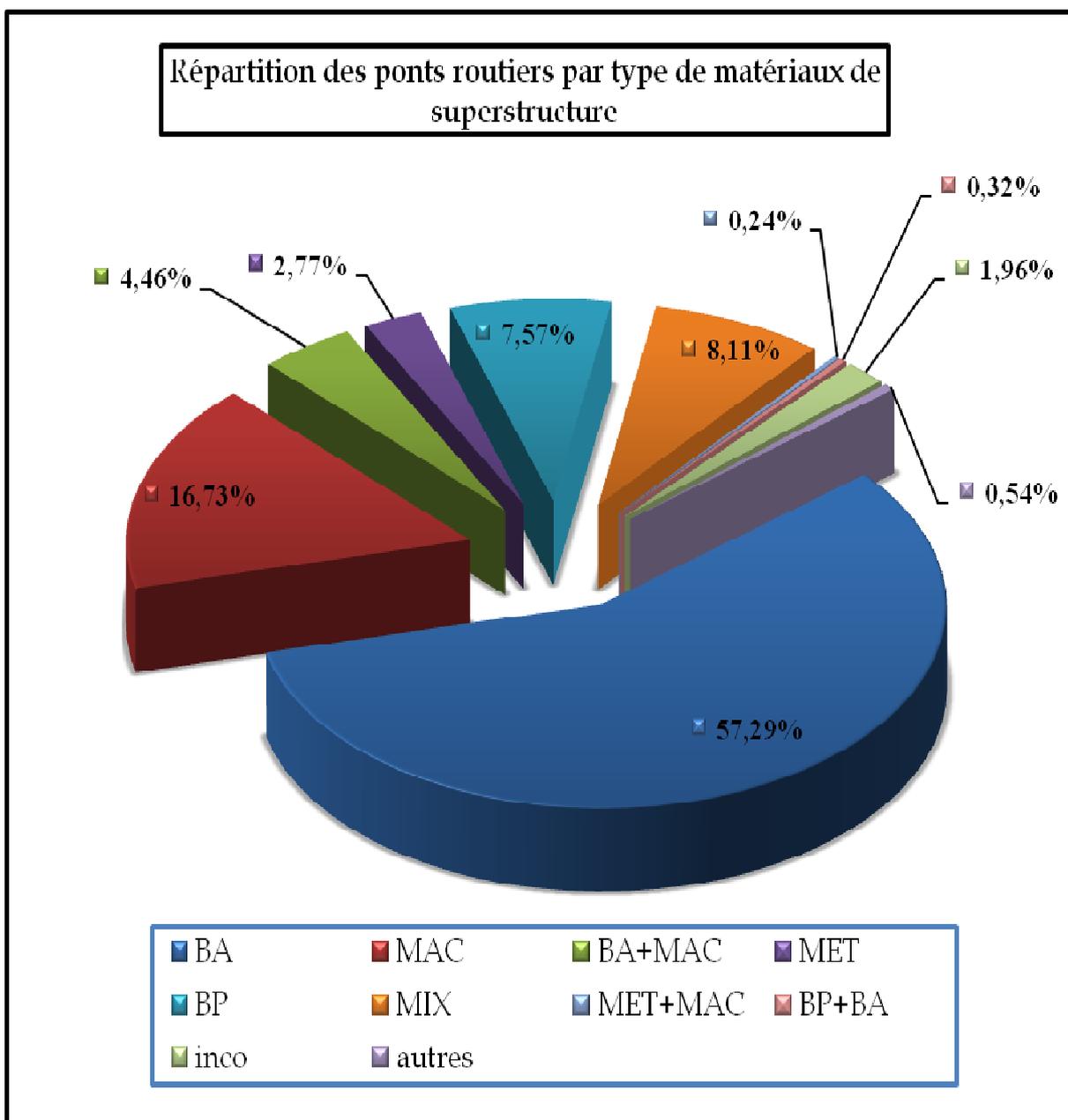


Figure IV.2: Répartition des ponts routiers par type de matériaux de superstructure.

La partie des ponts en béton armé dans l'effectif total est de 57.29% ; puis viennent les ponts en en maçonnerie béton armé avec 16.73% de l'effectif ; ensuite on trouve les ponts mixte avec 8.11% de l'effectif ; ensuite on trouve les ponts en béton précontrainte avec 7.57% de l'effectif ; en fin les ponts métallique, béton armé + maçonnerie, métallique + maçonnerie, béton armé + béton précontrainte et d'autre type totalisent 8.34 % de l'effectif ; la parte inconnu des ponts présentant 1.96 %.

VI.1.3.2 Récapitulatif des causes des pathologies courantes

D'après la réparation précédente des ouvrages les causes pathologiques qu'on peut rencontrer habituellement dans notre parc sont :

- **Métallique**
 - Des détériorations sous charges roulants : fissures de fatigue, déconsolidation d'assemblage rivés, décèlement et blocages d'appareils d'appuis ;
 - De la corrosion creusent ou foisonnant ;
 - Des dégradations dues aux faibles caractéristiques des vieux matériaux : fissures et cassures de traction, ruptures sous chocs thermiques ou mécanique ;
 - De défaut de conception d'origine.
- **Maçonnerie**

Les ouvrages en maçonnerie sont des ouvrages anciens ayant subi les épreuves du temps à cause desquelles des pathologies sont apparues. D'une manière générale, les causes des pathologies les plus courantes peuvent être résumées à :

- défaut ou absence d'étanchéité,
 - absence de drainage des remblais,
 - hauteur excessive de ballast,
 - poussées latérales sur les tympans dues aux charges,
 - tassement d'appui,
 - glissement de terrain,
 - affouillement de fondations en rivière,
 - action du gel.
- **Béton : (voire chapitre I).**

VI.1.3.3 Réparation des ponts par type de matériaux et type d'infrastructures

La répartition des infrastructures est montrée dans les deux figures ci-dessous :

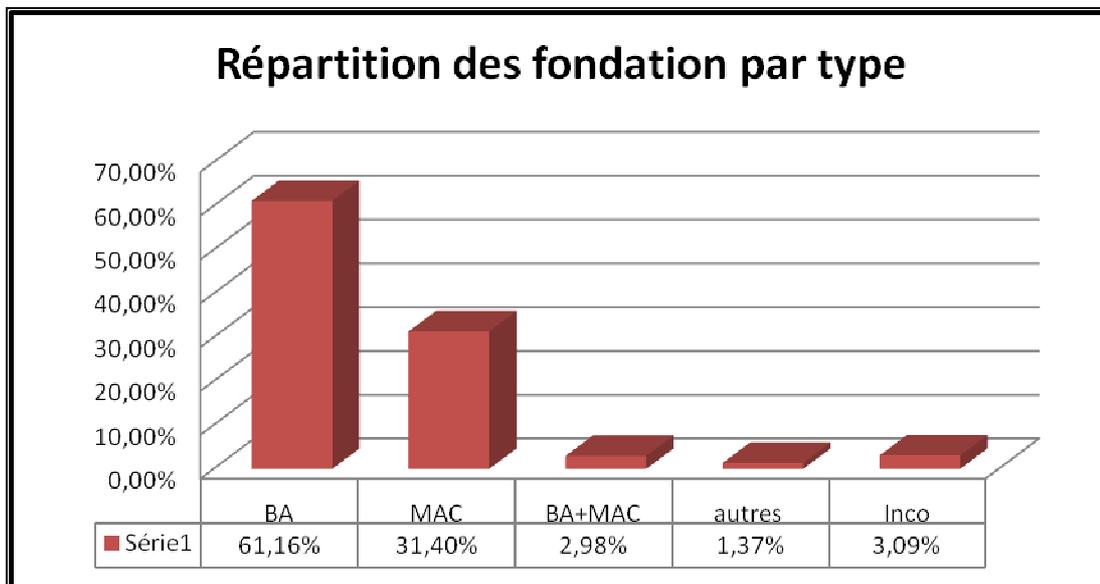


Figure IV.4: Répartition des ouvrages par type de matériaux des fondations.

La part des fondations en béton armé dans l'effectif total est de 61.16%; puis viennent les fondations en maçonnerie avec 31.40% de l'effectif présentant les fondations des anciens ponts ; en fin on trouve les fondations en béton armé + maçonnerie et autre avec 4.53% de l'effectif ; les fondations non connues présentant 3.09%.

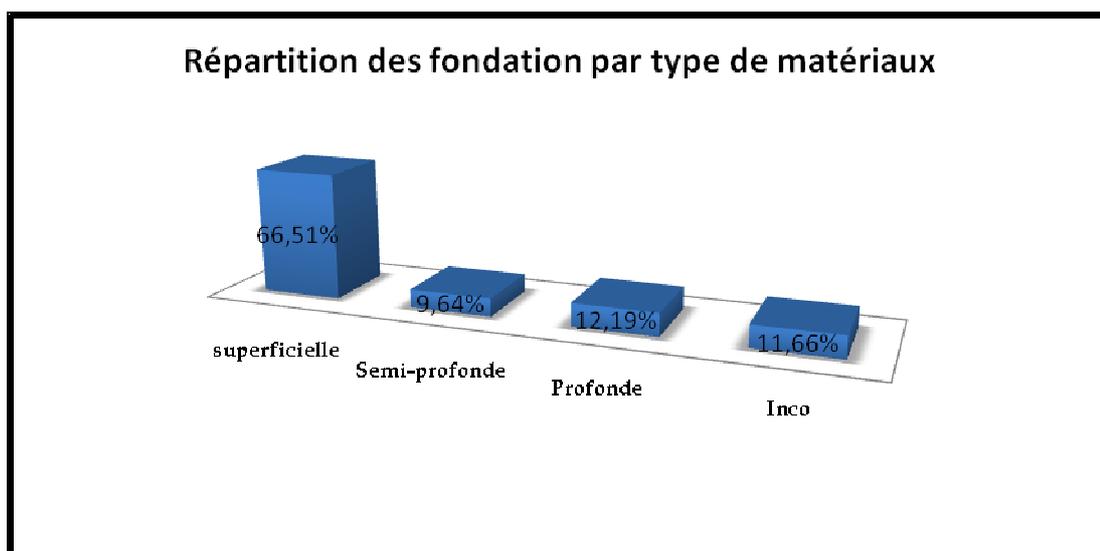


Figure IV.3: Répartition des ouvrages par type des fondations.

La part des fondation superficielle dans l'effectif total est de 66.51 % ; puis viennent les fondation profonde avec 12.19 % de l'effectif fondation semi-profonde avec 9.64 % de l'effectif ; ensuite on trouve les fondation semi-profonde avec 9.64 % de l'effectif ; ; la parte inconnu des fondation présentant 11.66 %.

VI.1.3.4 Age du parc des ouvrages d'art :

L'âge de ce parc des ouvrages d'art est simultanément un facteur essentiel dans l'évaluation de leur état, et un élément d'importance capitale pour permettre aux gestionnaires de faire appliquer des mesures de protection avant que les dégradations ne soient trop avancées.

Le recensement du parc des ouvrages d'art effectué en 2006, nous a permis d'établir l'inventaire de ce parc et la distribution des ponts est faite selon huit classes conformément à leur **date de mise en service** ; cette distribution apparait à la figure 2 :

- ✓ 227 ouvrage construits jusqu'à l'année 1900
- ✓ 693 ouvrage construits au cours et après 1900 et avant l'année 1962
- ✓ 124 ouvrage construits au cours et après 1962 et avant l'année 1970
- ✓ 357 ouvrage construits au cours et après 1970 et avant l'année 1980
- ✓ 899 ouvrage construits au cours et après 1980 et avant l'année 1990
- ✓ 236 ouvrages construits après l'année 1990 et avant l'année 2000
- ✓ 1173 ouvrage construits au cours et après l'année 2000 et avant l'année 2006
- ✓ 283 ouvrages année de construction inconnue

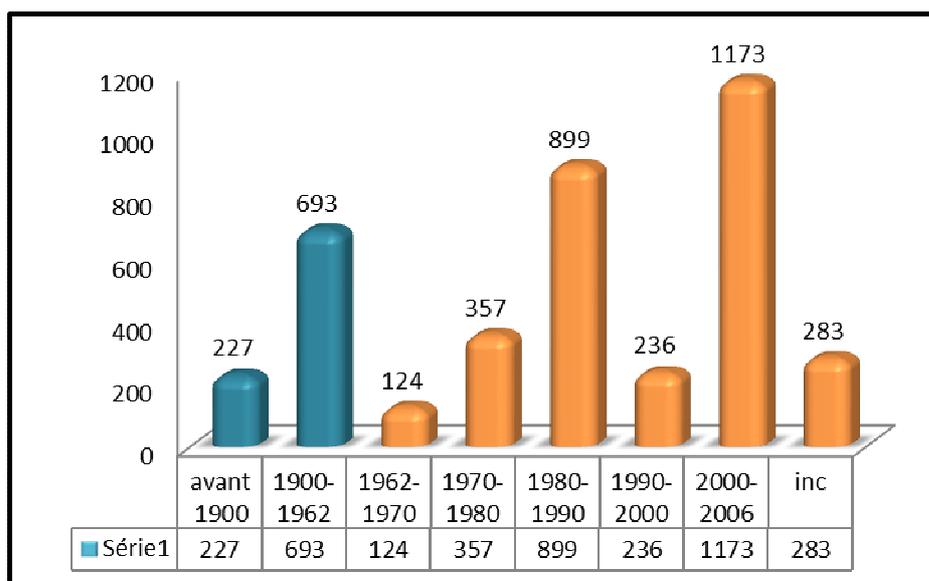


Figure IV.5: Age du parc des ouvrages d'art.

Le patrimoine des ouvrages d'art est relativement récent car environ 76% des ponts gérés par la direction de l'exploitation et de l'entretien des routes ont moins de 50 ans. Ces ouvrages ont été construits dans une période qui a connu un grand développement des techniques de construction et une innovation accrue concernant les matériaux utilisés dans la réalisation des ponts.

La partie d'ouvrages très anciens (construit avant 1962) est très faible mais elle représente néanmoins 23 % des ponts. Il s'agit de 920 ponts répartis comme suit :

- 227 dont l'Age est plus de 100 ans tel que **Pont d'El-Kantara** construit à Constantine par **Salah Bey** en 1792 et le **Pont de Sidi Rached** construit entre 1908 et 1912 ; et ces ouvrages présentent une très grande valeur historique.
- 693 d'entre eux sont âgés de 50 à 100 ans ; et on peut signaler que plus de 70% de ces sont des ouvrages sont en maçonnerie ou en béton armé.

Donc, en général, les ouvrages âgés sont des ouvrages qui ont connu un vieillissement avancé, et doivent par conséquent être entretenus régulièrement pour éviter la diminution de leur durée de vie et l'aggravation de leur état, qui engendre des dépenses d'entretien ou de réparation souvent fortement majorées.

VI.1.3.5 L'état des ouvrages d'art

Dans la présente thèse on a classé les ouvrages sur la base de l'inventaire réalisé en 2006 selon quatre classes comme suit :

- 1) **Bon état** : il caractérise les ponts neufs ou des ponts qui ne présentent pas des dégradations et servent une très bonne qualité de service ;
- 2) **Etat Moyen** : il caractérise les ouvrages dont la structure est en bon état apparent, mais les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts ou alors, la structure présente des défauts mineurs qui mènent la structure à un entretien spécialisé sans caractère d'urgence ;
- 3) **Mauvaise Etat** : il concerne les ouvrages qui ont une structure altérée et qui nécessite des travaux de réparation avec ou sans urgence
- 4) **Inconnu**: il fait référence aux ouvrages non-évalués.

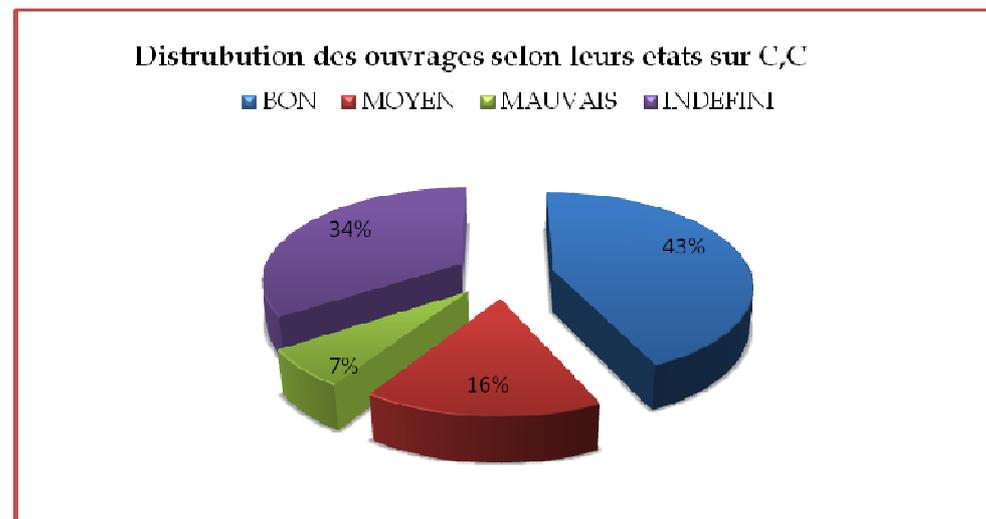
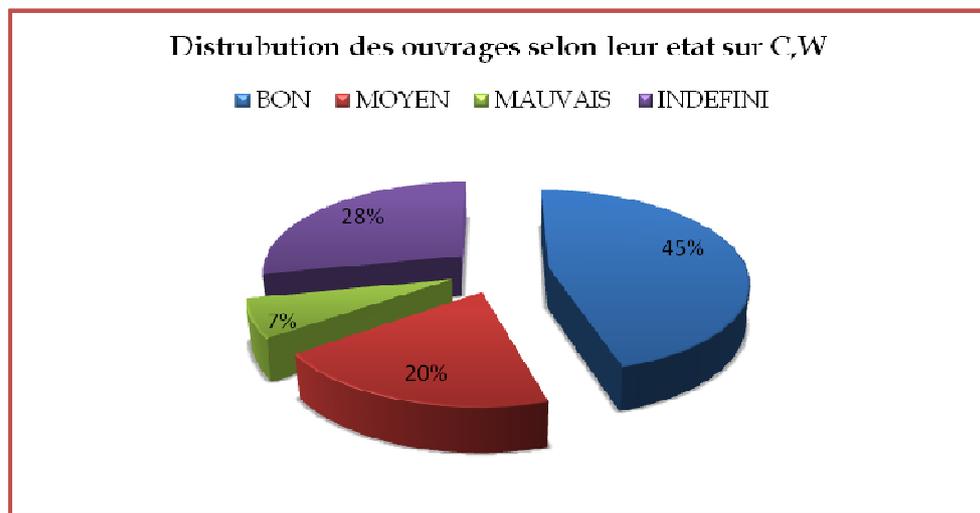
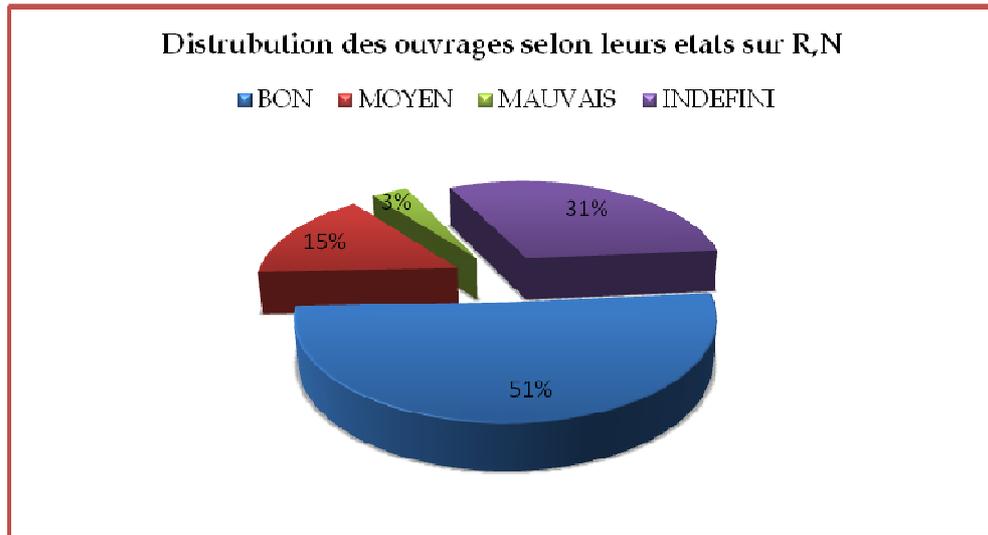


Figure IV.6: Distribution des ouvrages selon leurs états sur RN, CW, CC.

D'après la figure **IV.6**, l'état du parc national des ouvrages d'art sur RN, CW et CC est comme suit :

- ✓ 46.33 % des ouvrages sont en **bon état**.
- ✓ 17 % des ouvrages sont en **état moyen**.
- ✓ 5.66 % des ouvrages sont en **état mauvais**.
- ✓ 31 % des ouvrages sont en **état indéfini**.

En analysant cette distribution on a constaté que 63.33 % des ouvrages (**bon état + état moyen**) n'ont pas besoin des interventions, aussi le taux de 31% pour les ouvrages en état indéfini et un peu élevé, ce qui reflète un manque important de surveillance permanente.

VI.1.5 Budget d'entretien des ouvrages d'art exercice 2006-2011

L'état de dégradation continue des ouvrages d'une part, et les couts élevés de la reconstitution des ouvrages neufs d'autre part, contraignent les autorités publiques à orienter l'investissement vers la Préservation et réhabilitation des ouvrages existants affectés par divers phénomènes de dégradation, et le rendre une composante fondamentale de la politique routière.

La dotation allouée à l'entretien des ouvrages d'art entre 2006-2011 au titre des deux quinquennaux 2005-2009 et 2010-2014 est de plus de 3 Milliard de dinars permettant la réparation de 1103 ouvrages à travers tout le territoire, les ouvrages réparés présentent plus de 20 % de la totalité du parc national, ces ouvrages sont l'objets des actions suivantes :

- ✓ entretien courant (nettoyement des chaussées et compléments, curage des fossés et bassins, entretien des espaces verts, clôtures et autres installations fixes) ;
- ✓ entretien hivernal (alerte météo, salages préventifs et curatifs, déneigement) ;
- ✓ fonctionnement et maintenance des équipements (éclairage, ventilation, panneaux à messages variables, glisseurs de sécurité) ;
- ✓ petites réparations et réfections périodiques (réparations localisées de chaussées, de glissières, de talus, signalisation horizontale et verticale) ;
- ✓ surveillance et expertise sur l'état des ouvrages ;
- ✓ renforcement ou reconstruction de chaussées ;
- ✓ réfection de joints, réparation et reconstruction d'ouvrages d'art ;
- ✓ grosses réparations ou renouvellement d'équipements de sécurité, de signalisation, d'assainissement.

La répartition des dépenses ainsi que le nombre des ouvrages réparés sont présente dans les deux figures si dessus :

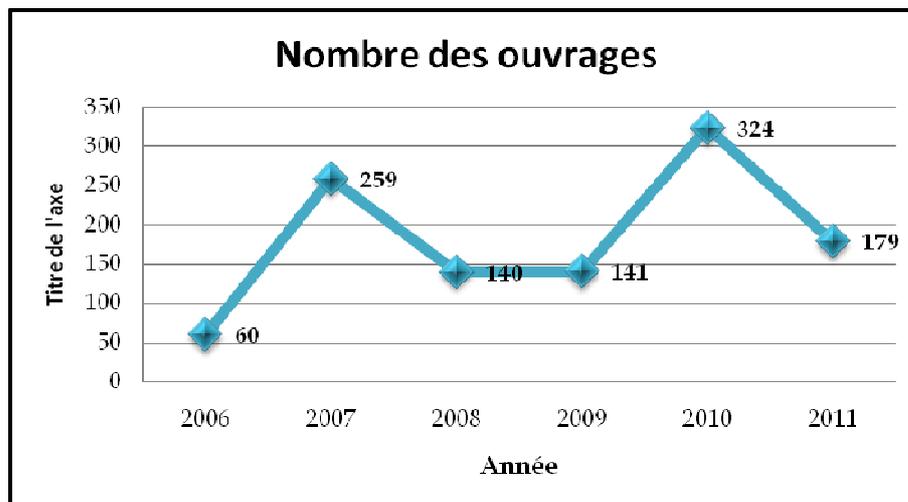


Figure IV.7: Nombre des ouvrages réparés durent la période 2006-2011.

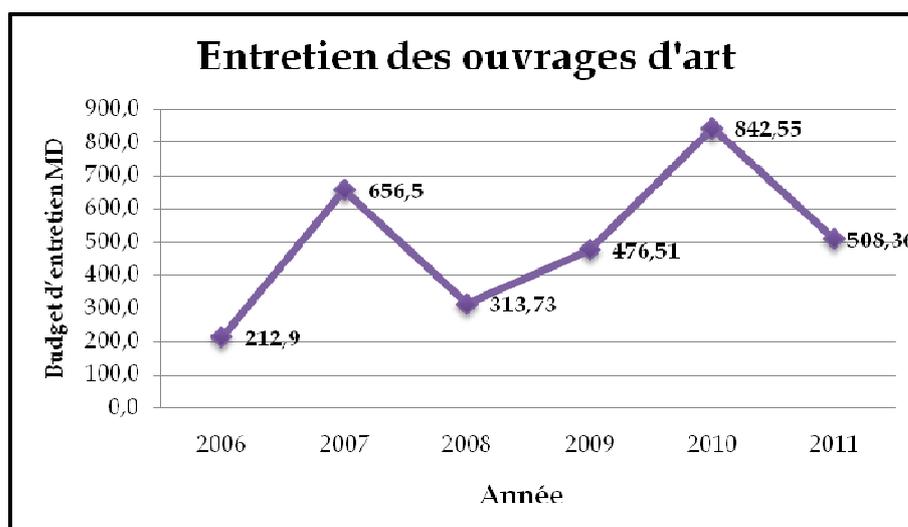


Figure IV.8: Budget alloué à l'entretien des ouvrages durent la période 2006-2011.

Partie 2 : Etude de cas, 50 ouvrages en état pathologique

VI.2.1 Exemple Pratique

La Direction des Travaux Publics de la Wilaya de Tizi-Ouzou a pris l'initiative de procéder à la surveillance des ponts à travers toute la wilaya en confiant cette mission au BET-SETS. Pour établir un rapport d'inspection et pour évaluer l'état des ouvrages ainsi les mesures à prendre pour la réhabilitation et le sauvegarde des ouvrages.

Dans cette partie on a exploité les informations requises pour établir une synthèse sur la nature et les causes des désordres les plus fréquentes soit au niveau des fondations, infrastructure, superstructure ou accessoires après la collecte des rapports d'expertises des cas d'ouvrages et le traitement et l'analyse des informations recueillies ainsi que on a aussi essayé d'estimer les causes probables de ces dégradations.

VI.2.1.1 Classification des ouvrages

La classification des ouvrages visités est synthétisée sous forme d'histogrammes dans les figures qui suivent, représentant :

- Répartition selon la nature des fondations (Superficielle, Profonde) ;
- Répartition par localisation (RN, CW) ;
- Répartition par tranche d'âge ;
- Répartition par type d'ouvrage (Béton, métallique, maçonnerie, mixte, ...etc.).

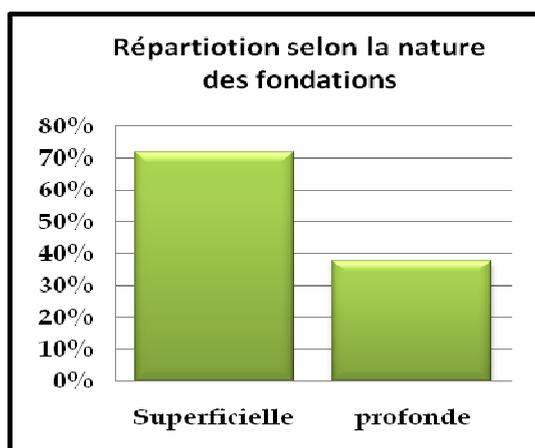


Figure IV.9: Répartition selon la nature des fondations (Superficielle, Profonde).

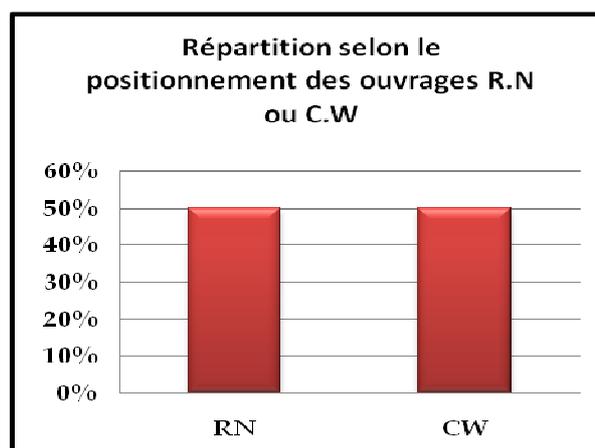
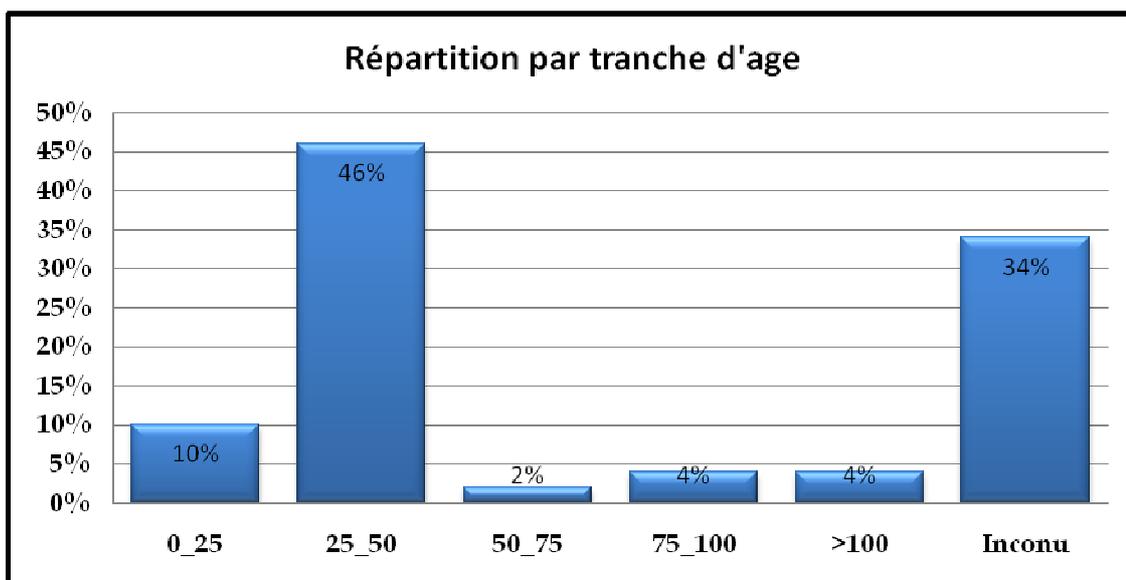


Figure IV.10: Répartition par localisation (RN, CW).



FigureIV.11: Répartition par tranche d'âge.

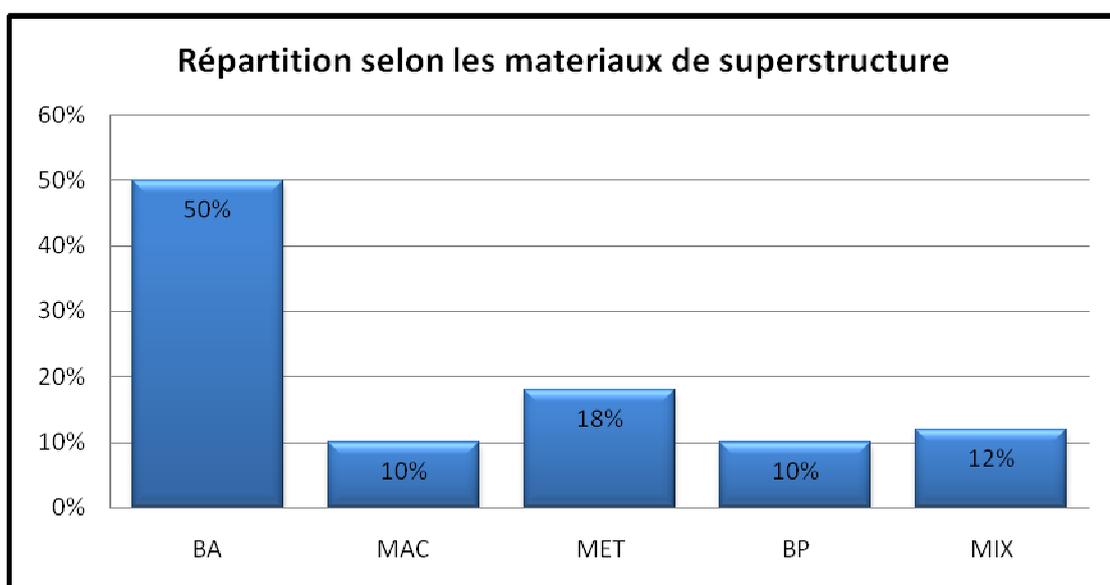


Figure IV.12: Répartition par type d'ouvrage (Béton, métallique, maçonnerie, mixte, ...etc.).

VI.2.2 Causes générales des désordres

✓ L'eau est un facteur qui est l'origine de pas mal de désordres. Il a été enregistré des ouvrages présentant des désordres au niveau des appuis, mur de soutènement ou même dans plusieurs cas au niveau des superstructures ;

✓ Les eaux souterraines agressives peuvent aussi être à l'origine des altérations chimiques du béton. Les fondations des ouvrages que nous avons visités sont dans la plupart des cas non visibles et font appel à étayage ou sondage et analyse chimique du sol et eaux.

- ✓ Modification de la configuration des terrains au voisinage de l'ouvrage (remblaiement à proximité des fondations, travaux derrière la culée ...etc.) ;
- ✓ Modifications apportées à la superstructure (élargissement, modification de schéma statique ...etc.) ;
- ✓ Obstruction partielle du lit par accumulation de corps flottants, arbres et végétation favorisant la stagnation des eaux ;
- ✓ Modification des conditions de ruissellement des bassins et versant et d'écoulement de rivière mettent aussi en cause la stabilité des fondations d'ancien ouvrage en maçonnerie fondé superficiellement ;
- ✓ Trafic intense sur les ponts relativement anciens et rechargement abusif de la chaussée ;
- ✓ Circulation d'engins de terrassement sur le tablier ;
- ✓ Passage de convois exceptionnels ;
- ✓ Vibrations et chocs provenant de véhicules surtout si une différence de niveau existant entre le remblai d'accès et le tablier ou défaut du joint de dilatation ;
- ✓ fissure du revêtement au droit du joint ;

VI.2.3 Désordres et causes dans les fondations des ouvrages

Entant que tous les ouvrages étudiés franchissant des cours d'eau ainsi que plus de 72% d'infrastructures fondées superficiellement, toutes les fondations sujettes à des risques et dommages graves causés par l'écoulement avec de très forte vitesse, ces dommages provoquent des mouvements différentiels de grande amplitude engendrent des désordres au niveau de la structure porteuse.

VI.2.3.1 Type de désordres enregistrés sur les ouvrages

❖ L'érosion

L'expertise des ouvrages (8 ouvrages) montre que les lits de l'oued sont le sujet d'une érosion régressive. La vitesse importante de l'érosion est probablement le signe du fond modelable du lit de l'oued et des extractions importantes du sable en aval des ouvrages routiers. Cette situation

est aggravée par la favorisation de la concentration de l'érosion du lit de l'oued sur une partie de la section de l'ouvrage.

❖ **Affouillement** : présente dans plusieurs ouvrages (50%) sous les formes suivants :

- ✓ Début d'affouillement
- ✓ Affouillement ou affaissement autour et au-dessous des fondations et niveau de fondation au-dessus du sol affouillable
- ✓ Affouillement autour et sous l'une des culées;
- ✓ Affouillement autour de l'une des culées lié à la courbure du lit de cours d'eau ;
- ✓ Affouillement sous l'une des culées reposant sur massif rocheux fracturé
- ✓ Affouillement du lit de l'oued vers l'une des ouvertures
- ✓ Affouillement très grave du lit de l'oued dénudant les semelles menaçant la stabilité de l'ouvrage lors des prochaines crues
- ✓ Déchaussement de fondation ou mur de soutènement
- ✓ L'affouillement du lit de l'oued dénudant les semelles (photo 2) et menace la stabilité de l'ouvrage lors des prochaines crues.
- ✓ Risque de perte de portance par affouillement sous les culées
- ✓ Début de tassement au niveau des culées
- ✓ Déstabilisation du système de protection des berges
- ✓ Certains signes apparaissent plutôt au niveau de la structure porteuse et traduisent certains défauts au niveau des fondations (qui sont souvent moins visibles).
- ✓ Fissure au niveau de jonction mur en ail culée
- ✓ Fissure et éclatement de béton de la dalle en béton armé
- ✓ Gauchissement de la géométrie de la structure métallique.

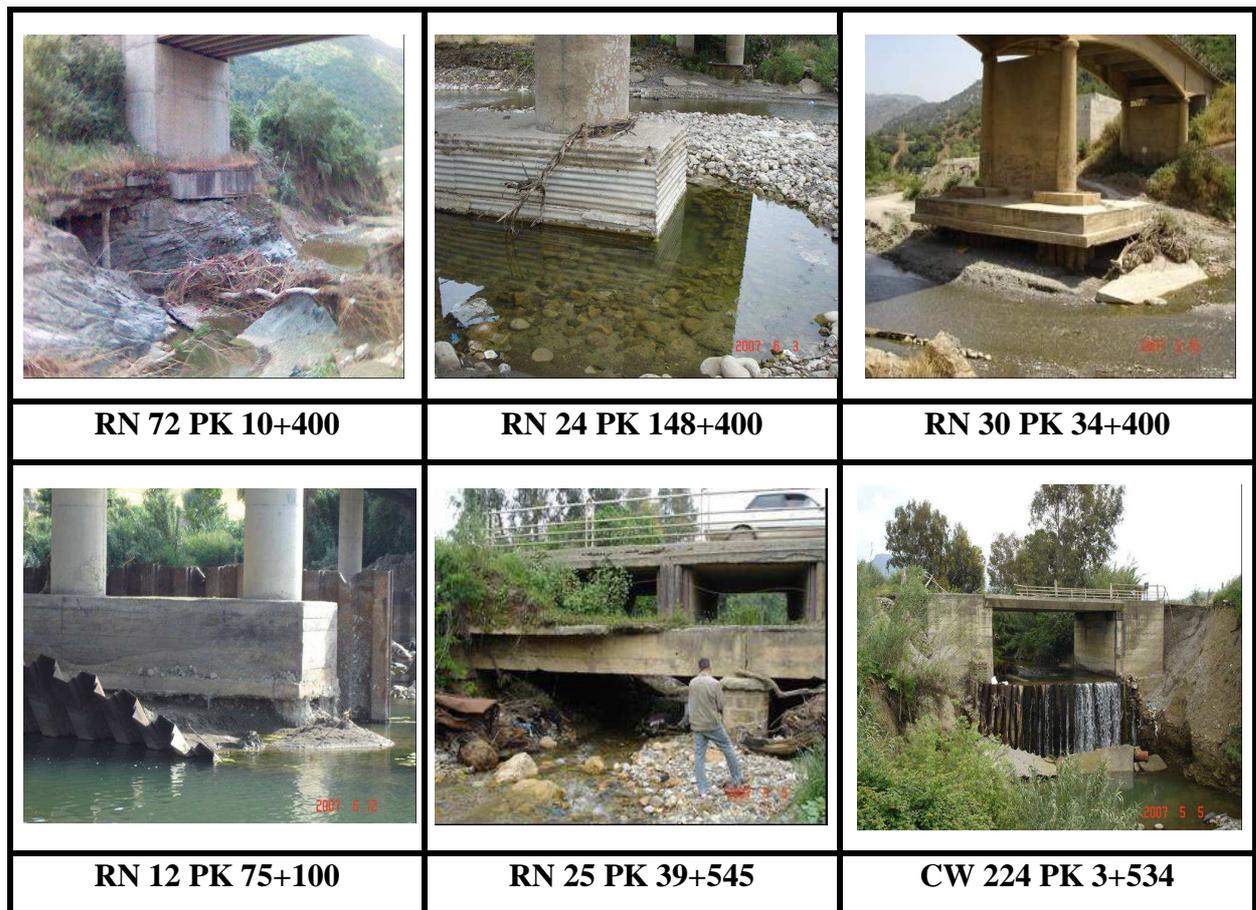


Figure IV.13: Exemples Des ouvrages présentant d'affouillements.

VI.2.3.2 Causes probables des désordres

a) *Les insuffisances d'origine* : constatées sur certaines fondations, pouvant être inhérentes tant au projet qu'à sa réalisation :

- ✓ manque de profondeur des appuis : encastrement résiduel insuffisant vis-à-vis de l'évolution du lit.
- ✓ réduction excessive de la section mouillée (massifs très larges, portées faibles entre appuis, implantation dans un coude,...) : l'action agressive des eaux est amplifiée par accroissement local des vitesses.
- ✓ massifs fortement excentrés ou de forme irrégulière.
- ✓ sous-dosages des bétons,
- ✓ nettoyage incomplet dans les bordées : le matériau du lit a pu se mêler au béton ; la surface d'assise est réduite.
- ✓ nettoyage incomplet des matériaux éventuellement déposés par crues, entre phase de bétonnage.

- ✓ maçonneries de ceinturage (massifs), en abouts de radiers ou en parties supérieures (pavages, entablement), gélives, insuffisamment cimentées ou épaisses.
- ✓ enrochement mal calibrés, manquant d'encastrement sous le toit du lit, disposés selon des configurations trop réduites ou excessives.
- ✓ dispositions constructives insuffisantes en raison : de recherche d'économies ou de méconnaissance (Culées fondées superficiellement sur des fortes pentes)

b) Causes naturelles : L'évolution naturelle de quelques cours d'eau n'ayant pas atteint leur profil d'équilibre engendre déjà un abaissement du toit du lit respectivement par l'affouillement général (couche d'alluvions se déplaçant à partir d'un certain seuil de débit) et d'affouillement local (surcreusement généralement centre au droit de la partie la plus en amont des appuis), sont donc situés plus bas que lors de la construction ce qui ne peut qu'affecter les protections par enrochements et réduire l'encastrement.

Quelques désordres de lits mineurs non fixés ou la formation d'atterrissements modifient l'orientation des courants, les débouchés, aggravant l'action des eaux (affouillement, entraînement des enrochements).

c) Les interventions humaines sur les cours d'eau en modifiant l'écoulement sont susceptibles, à plus ou moins long terme, même sur des zones éloignées de celle de réalisation, de perturber l'équilibre du lit ou d'accélérer son évolution ; parmi les opérations qui sont soldées par des abaissements des fonds (donc qui permettent la manifestation d'affouillements jusqu'à des altitudes moindres), ou qui augmentent les vitesses d'écoulement (entraînement des protections, creusement des fonds) ; retenons essentiellement :

- Les prélèvements des matériaux, les rééquilibrages;
- Les endiguements ou emprunts à partir de berges pour créer des plateformes, (chaussées nouvelles, parc de stationnement ...etc.) ;
- L'arrêt du transport solide par des seuils et barrages puis les chasses rapides pour l'extraction à des fins économiques et par facilité technique, des alluvions ainsi "piégées" en amont de l'ouvrage ;
- Obturation partielle de la section d'écoulement de l'ouvrage par le jet des déchets ;

d) les défauts de réparation

- ✓ le fonçage de palplanche par vibrage déstructure les sols et engendre des tassements
- ✓ le mauvais recalibrage des lits d'oued

VI.2.4 Infrastructure

Les désordres enregistrés au niveau de infrastructure concernent surtout les culées, piles, les murs en ail ou en retour et éventuellement les murs de soutènement et les gabions.

VI.2.4.1 Nature des désordres constatés

26/50 (52%) des ouvrages présentent d'importantes dégradations du type :

- ✓ Fissure dans le béton et maçonnerie
- ✓ Erosion de pierre en maçonnerie
- ✓ Altération des parements de pierre
- ✓ Déchaussement de pierre (maçonnerie)
- ✓ -Altération physico-chimique du béton
- ✓ Décrochement et éclatement de pierre et béton
- ✓ Nids de cailloux, ségrégation, écaillage
- ✓ Déstabilisation du système de protection des berges
- ✓ Dégradation du béton des culées amplifiée par les infiltrations
- ✓ Fissures entre murs de tête et murs en ailes
- ✓ Dégradation des joints de la maçonnerie en pierres des murs de tête

VI.2.4.2 Causes des désordres

Mise à part la fatigue vieillissement des éléments porteurs et l'influences du trafic de plus en plus intense, l'eau est l'un des paramètres qui est à l'origine de pas mal de désordres. 12/50 (24%) des ouvrages sont concernés par un mauvais fonctionnement des gargouilles. Nous désignons par mauvais fonctionnement: gargouilles inexistantes, nombre insuffisant, bouchées ; mal placées (au-dessus des appuis), ou courtes favorisant des fuites préjudiciables à l'ouvrage.

Le défaut de fonctionnement favorise la stagnation d'eau sur les sommiers et déborde en créant une fuite anarchique vers les éléments porteurs de la structure. 24% des ouvrages présentant.

L'absence de dispositif d'évacuation et de gestion des eaux de ruissellement sur et aux voisinages du pont.

VI.2.4.2.1 Altération de maçonnerie et béton

a) *Maçonnerie*

Un réseau de fissuration apparaît habituellement au niveau des barbacanes des ponts en maçonnerie à cause du vieillissement. Dans certains cas, les systèmes d'évacuation ont même disparu ou détruit par les mouvements internes de la structure. L'écoulement n'est alors plus assuré ce qui implique l'accumulation d'eau (les eaux résiduelles d'origines industrielle ou eau des pluies). Cette perte d'efficacité des dispositifs d'évacuation des eaux laisse les structures sans protections, aggrave fortement les phénomènes agressifs des eaux et provoque :

✓ La dissolution du liant des joints entre les briques par actions chimiques les paramètres primordiaux dans ce phénomène sont, la nature des eaux et l'aptitude à la dissolution de la chaux ;

✓ Le développement de la végétation ;

✓ La chute d'éléments de l'ouvrage en maçonnerie ;

✓ La coloration des parements par l'apparition des taches noires ou brunes dans les surfaces des éléments de structure caractérisent un début de détérioration.

b) *béton*

Plusieurs sont les facteurs influant la dégradation du béton mais La plupart des exemples des ouvrages dégradés sont dus à des phénomènes de dégradation d'origine chimique (la corrosion, l'attaque des sulfates, l'attaque bactériologique et Carbonatation...) résultants de la mauvaise qualité des bétons qui résulte en conséquence la dégradation par des mécanismes varie mais d'autres facteurs sont présentes telle que l'action dynamique due par le trafic intense et les convois exceptionnelles, action humaine traduite par les défaut de conception, exécution, le manque d'entretien ou les mauvaises réparations.

VI.2.4.2.2 Absence ou insuffisance du système de drainage des eaux

Mis à part que les ponts visités présentent une déstabilisation des berges et leur protection, l'absence du dispositif de drainage a favorisé des dépôts de boue et blocs de pierre sur les sommiers du tablier dus principalement à une circulation désorganisée des eaux qui contribue à accentuer les dégradations. Aussi l'eau a tendance à déborder et peut être projetée lors des passages de véhicules ; en outre cette mauvaise circulation d'eau est accentuée par la présence de végétation nuisible et plantes grimpantes.

Les désordres des systèmes de drainage se manifestants comme suit :

- ✓ 46% des ouvrages présentant Absence de joints de chaussée ;
- ✓ 24% des ouvrages présentant Absence de dispositif d'évacuation et de gestion des eaux de ruissellement sur et aux voisinages du pont ;
- ✓ 38% des ouvrages présentant des traces des venus d'eau sur les chevêtres, culées et à travers le tablier ;
- ✓ 36% des ouvrages présentant une défaillance de l'étanchéité du tablier.

VI.2.4.2.3 Présence de végétations nuisibles

23/50 (46%) ouvrages d'art sont envahis par la végétation encombrante et nuisible dans la mesure où leurs racines peuvent se propager jusqu'aux éléments de structure en contact avec le sol. Egalement, les plantes sont présentes sur les éléments de la structure qui par pénétration ont provoqué des défauts de maçonnerie et déchaussement de pierre. En outre, certaines plantes sécrètent des acides humides qui peuvent être à l'origine de certains désordres.

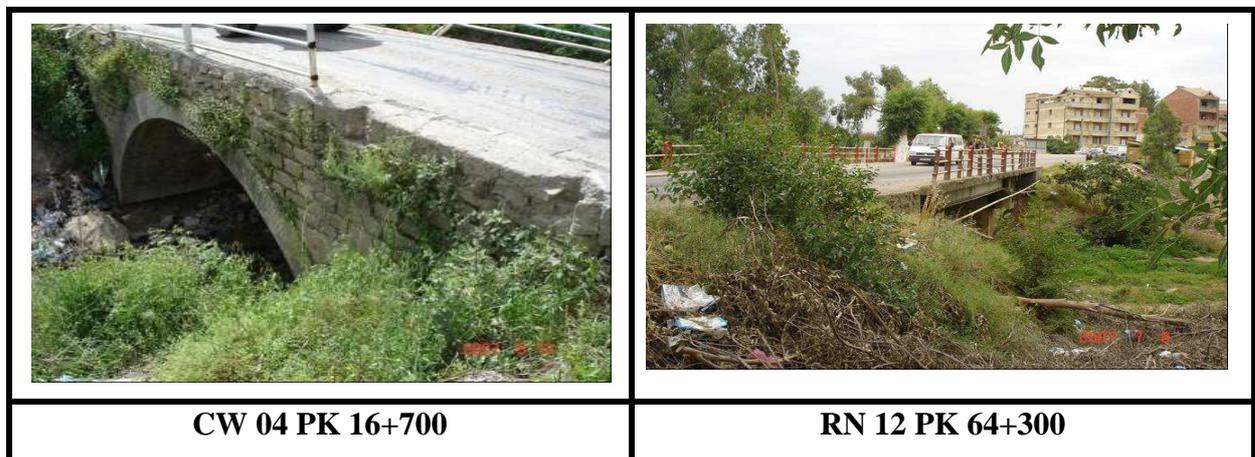


Figure IV.14: Exemples Des ouvrages Présence de végétations nuisibles.

VI.2.5 Superstructure

16/50 (32%) ouvrage présentent des dégradations au niveau de la superstructure ; les désordres ont été localisés au niveau :

- ✓ Des poutres principales et secondaires (métallique) ;
- ✓ Poutres en béton armé ;
- ✓ Voutes en maçonnerie ;
- ✓ Dalles en béton armé.

VI.2.5.1 Nature des désordres

- ✓ Oxydation avancée et piqures en nombreux points des poutres métalliques ;
- ✓ Dégradation et flambement des poutres métalliques ;

- ✓ Fissures, corrosion des armatures et éclatement de béton ;
- ✓ Flambement partiel de la poutre porteuse ;
- ✓ Boulons, rivets, bloqués, grippés, oxydés ;
- ✓ Nids de cailloux, ségrégation, écaillage ;
- ✓ Dégradation de voute en maçonnerie ;
- ✓ Corrosion avancée des poutres et plaques d'appuis métalliques.

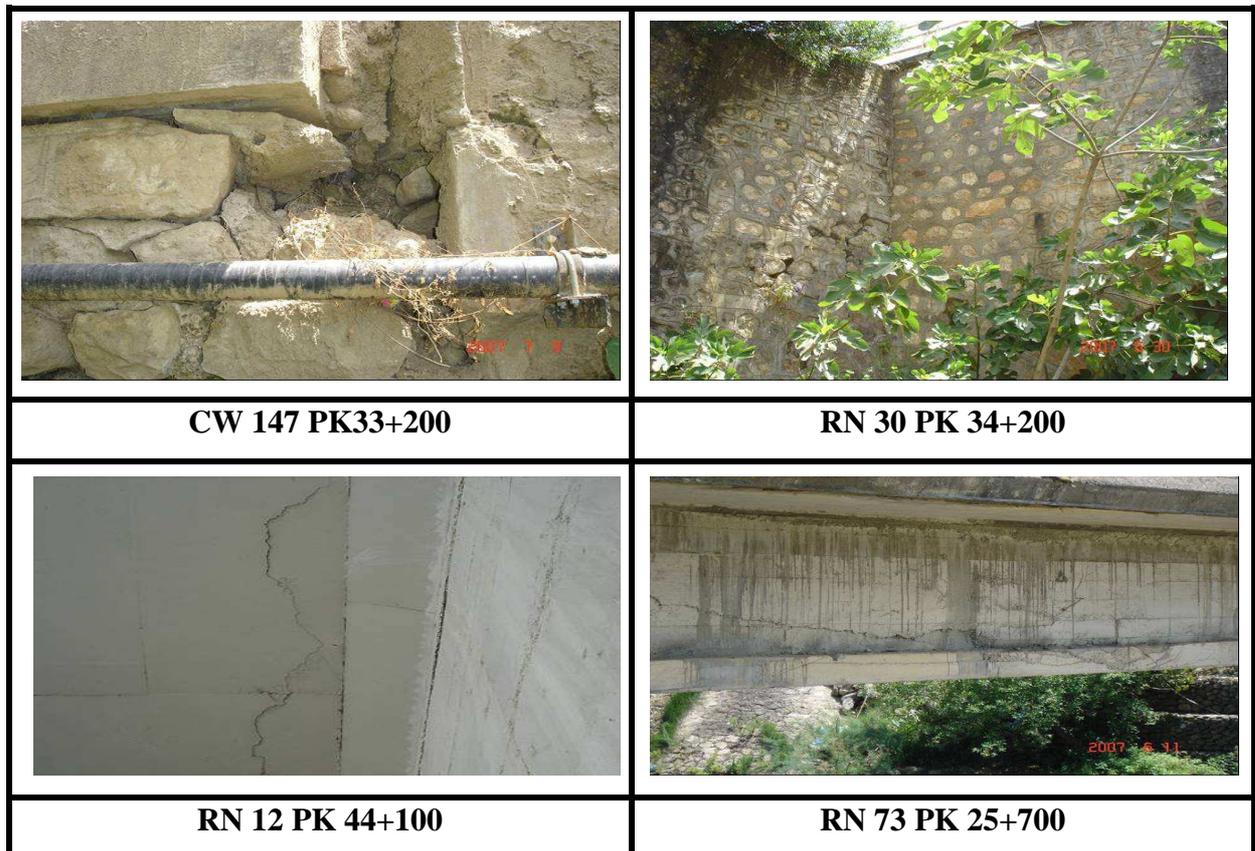


Figure IV.15: Exemples Des Désordres structuraux.

VI.2.5.2 Cause Des Désordres

❖ Désordres dans le béton et maçonnerie

- ✓ Fissure favorisant la pénétration d'eau, engendrant le foisonnement de la rouille en provoquant à la périphérie des armatures des contraintes importantes qui provoquent le décollement et la laissent définitivement les armatures sans protection ;
- ✓ Fissure et dégradation des appuis en maçonnerie provoquant des désordres au niveau de la superstructure (flambement, déchaussement des poutres principales) ;
- ✓ Mauvais fonctionnement des appareils d'appuis favorisant aussi certaines dégradations dans la superstructure.

❖ Corrosion des éléments métalliques

Mis à part les facteurs occasionnant des désordres par fatigue des éléments dus aux cycles de chargement et déchargement variables et amplitude de variation de contraintes nous avons remarqué que la plupart des éléments métalliques présentent une insuffisance de protection contre la corrosion. La corrosion a été rencontrée :

- ✓ Ossatures rivées, au niveau des assemblages et plus particulièrement à la périphérie des rivets ;
- ✓ Ossatures soudées, à la lisière des soudures, favorisées par l'existence de contrainte résiduelles ;
- ✓ Corrosion dans les zones préférentielles (zones de rétention d'eau et d'humidité) ;
- ✓ Pièges à eau divers, contact acier-béton ou maçonnerie ;
- ✓ Infiltration d'eau dans les interstices, surtout les anciens ouvrages qui présentent une multiplicité des pièces accolées.

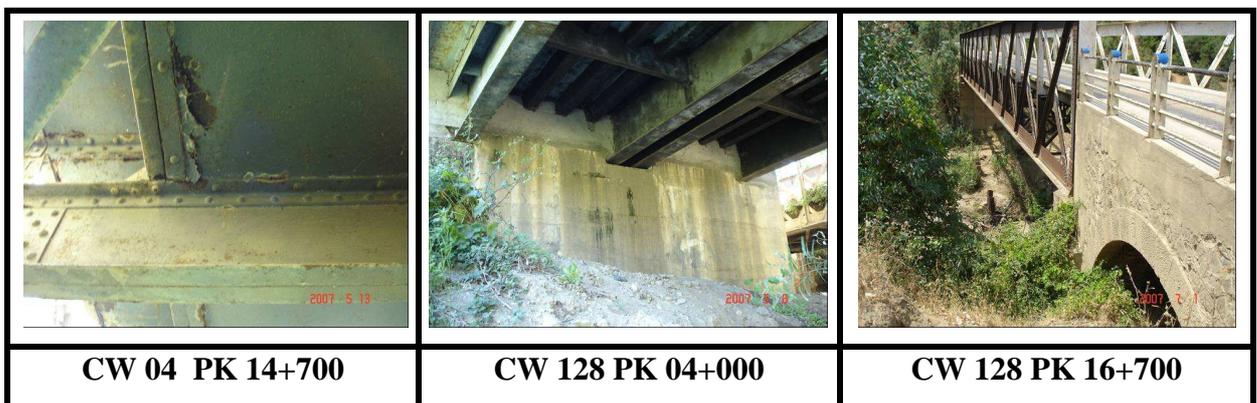


Figure IV.16: Exemple des ouvrages présentant la Corrosion des éléments métalliques.

❖ Insuffisances dues au non-respect des règles d'exécution

- ✓ Défaut d'enrobage ;
- ✓ Défaut positionnement des armatures ;
- ✓ Reprise de bétonnage mal exécutée ;
- ✓ Vibration mal conduite ;
- ✓ Canalisation d'eau sous le tablier détériorée favorisant des fuites préjudiciables et stagnation d'eau. Le passage de véhicules provoque une projection d'eau vers les éléments de la structure.

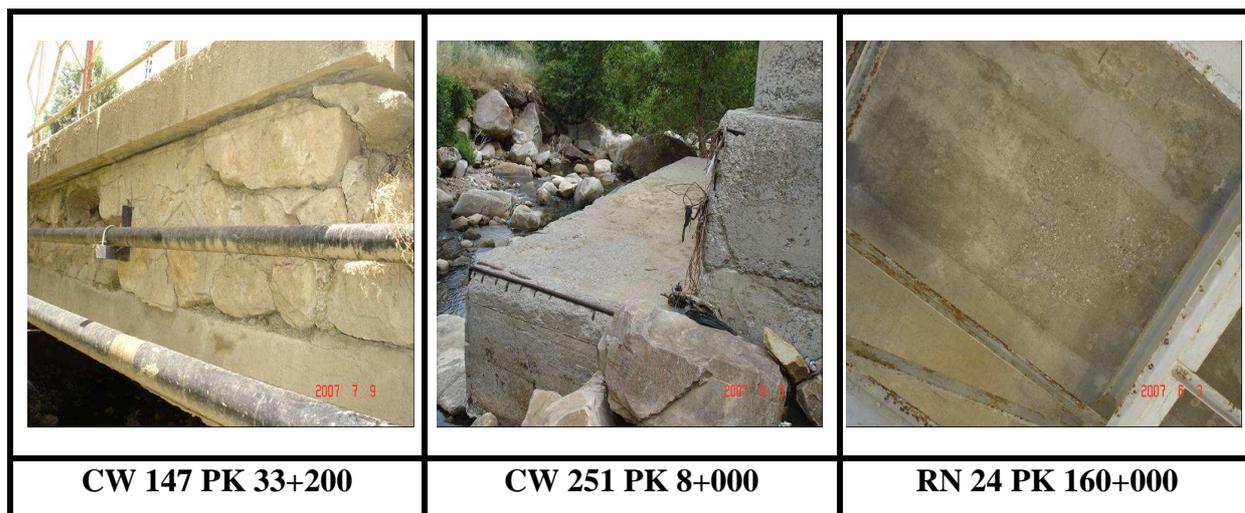


Figure IV.17: Insuffisances dues au non-respect des règles d'exécution.

VI.2.5 Accessoires Des Ouvrages

Parmi les équipements qui conditionnent l'état du pont, on retrouve :

- ✓ Les appareils d'appuis ;
- ✓ Les systèmes d'évacuation des eaux et drainage ;
- ✓ Les joints de chaussée et le revêtement routier ;
- ✓ Le garde-corps et les glissières de sécurité assurant la sécurité et le confort des usagers

VI.2.5.1 Appareils D'appuis

Le mauvais fonctionnement des appareils d'appuis peut provoquer de graves désordres dans les appuis et le tablier. 15/25 ouvrages d'art équipés d'appareils d'appuis présentent des insuffisances ou nécessitent une réparation ou un changement.

- ✓ Appareils d'appuis métalliques oxydés, bloqués, grippés ;
- ✓ Siège d'appareil d'appuis détérioré nécessitant réfection ;
- ✓ Appareil d'appuis inadapté, très élancé de forme, inadéquat, cylindrique, de 0,80 m d'élancement, avec un diamètre relativement très petit, présentant une inclination ;
- ✓ Appareils d'appuis inexistantes.

Mis à part le fait que la plupart des appareils d'appuis sont relativement anciens et soumis parfois à forte sollicitations répétées, nous avons remarqué que certaines dégradations ont été accentuées par la circulation anarchique de l'eau, notamment l'infiltration d'eau à travers les joints de dilatation détériorés.

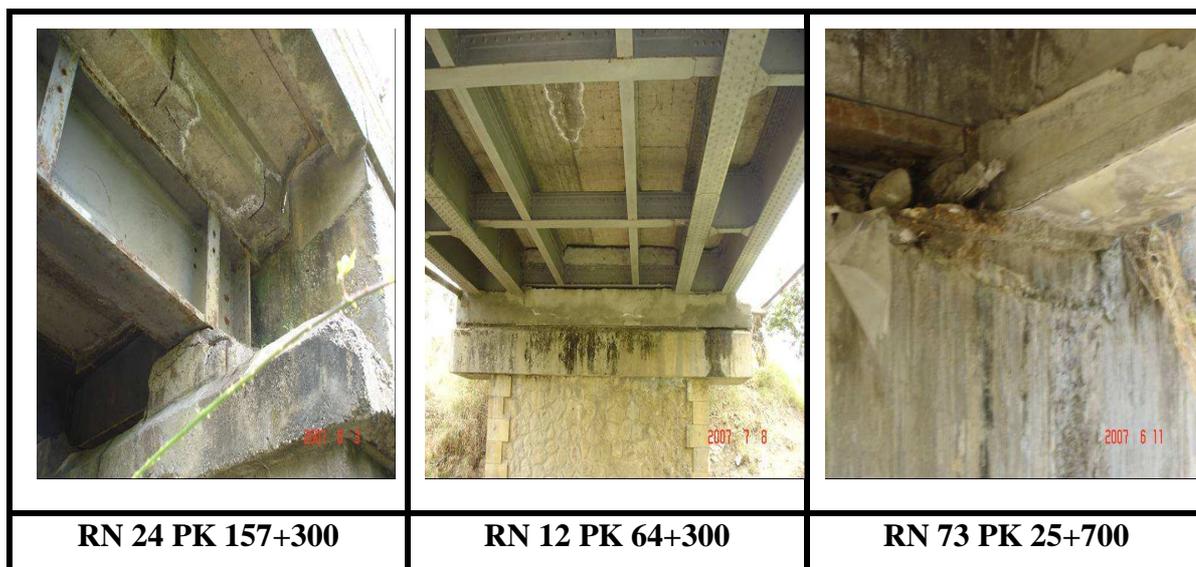


Figure IV.18: Défaut présente aux niveaux des appareils d'appuis.

VI.2.5.2 Système D'évacuation Des Eaux

Nous avons enregistré 23/50 ouvrages présentant des insuffisances ou absence du système de drainage et d'évacuation des eaux.

La plupart des désordres enregistrés au niveau des différentes parties de la structure sont principalement dus à la circulation désorganisée des eaux. Il s'agit aussi d'appréhender les causes qui sont souvent à l'origine du mauvais fonctionnement des gargouilles. L'absence de drainage favorise les débris, blocs de pierre et surtout la boue véhiculés par l'eau. Et aussi la présence d'arbres au niveau su tablier et culée. Ceci traduit à quel point nos ouvrages sont abandonnés.

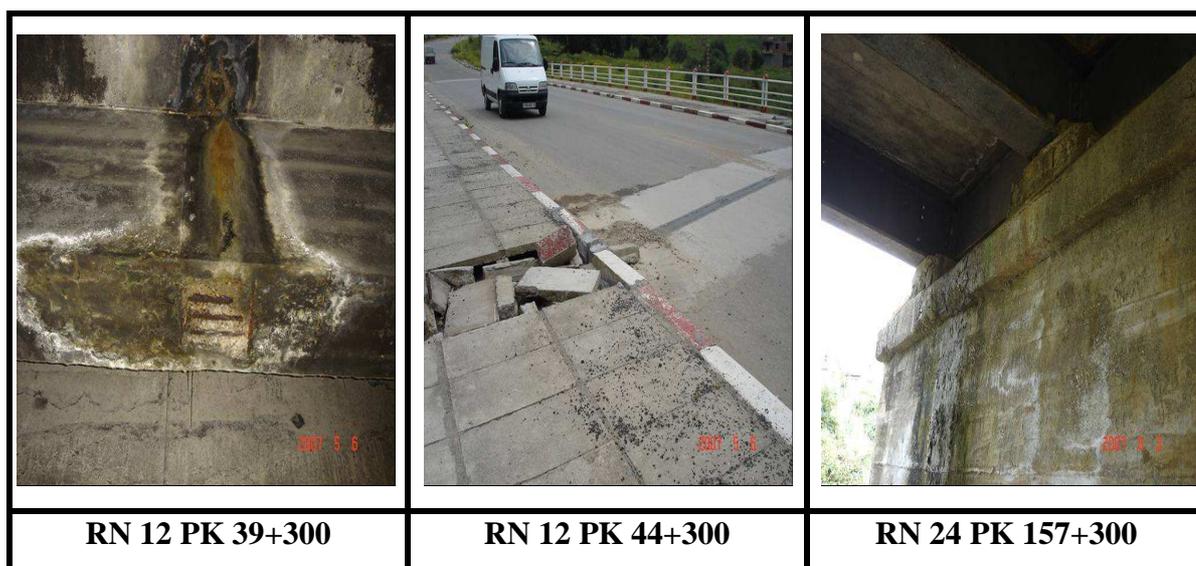


Figure IV.19: Défaillances observées aux niveaux des systèmes d'évacuation des eaux

VI.2.5.3 Joints des chaussées

21/50 ponts présentent soit des défauts de joints, soit des affaissements ou dégradations du remblai d'accès.

- ✓ Absence de joints de chaussée ;
- ✓ Fissure, faïençage, nids de poule de remblai d'accès ;
- ✓ Fissure au droit des joints ;
- ✓ Défaut de liberté de mouvement et d'alignement dû à une mauvaise mise en place du joint ;
- ✓ Craquement du revêtement recouvrant le joint (Type de joint adopté ne nécessite pas une couverture) ;
- ✓ Affaissement du remblai d'accès, due principalement à une insuffisante de compactage lors de la réalisation ;
- ✓ Fissure dans les cornières d'épaulement ou rupture des ancrages fixant la cornière au béton de l'épaulement ;
- ✓ Décalage vertical remarquable entre deux éléments en acier d'un joint faisant crête sur laquelle peuvent venir buter les équipements de déneigement ;
- ✓ Défaut de béton, décalage vertical entre le joint et l'enrobé ou entre deux éléments du joint présentant un danger potentiel très important pour la sécurité des usagers.

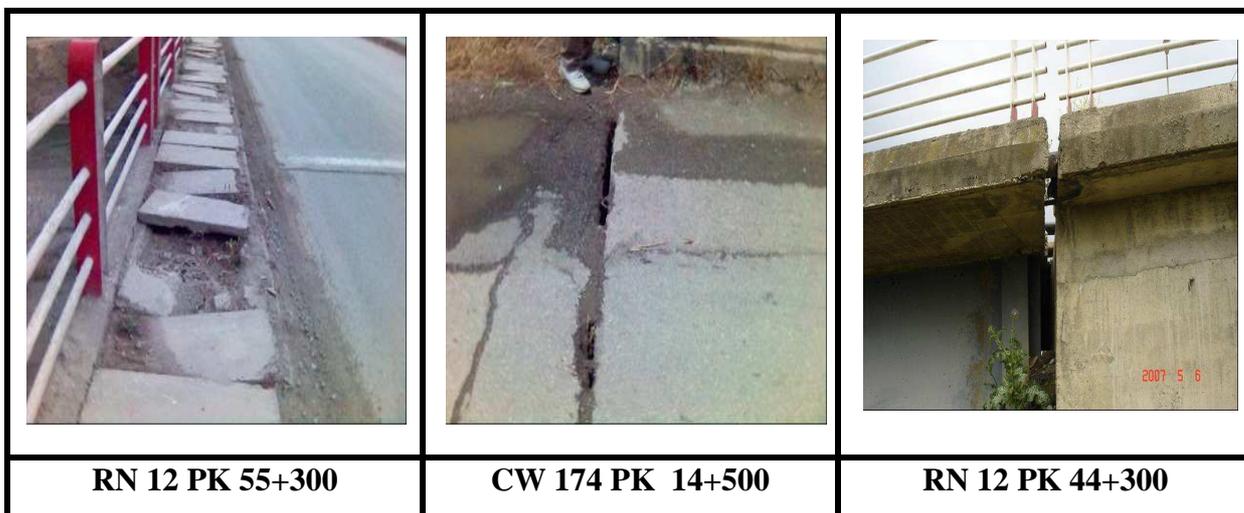


Figure IV.20: Défaut présente aux niveaux des joints de chaussée.

VI.2.5.4 Garde-corps Et Glissières De Sécurité

Nous avons enregistré 11/50 ouvrages présentant des dégradations du garde-corps de type :

- ✓ Oxydation des éléments métalliques ;
- ✓ Insuffisance de protection contre la corrosion ;
- ✓ Détérioration et basculement des éléments en maçonnerie constituant le garde-corps ;
- ✓ Détachement des tubes en acier du garde-corps ;
- ✓ Garde-corps inexistant.

Pratiquement tous les ouvrages visités ne sont pas équipés de glissières de sécurité.

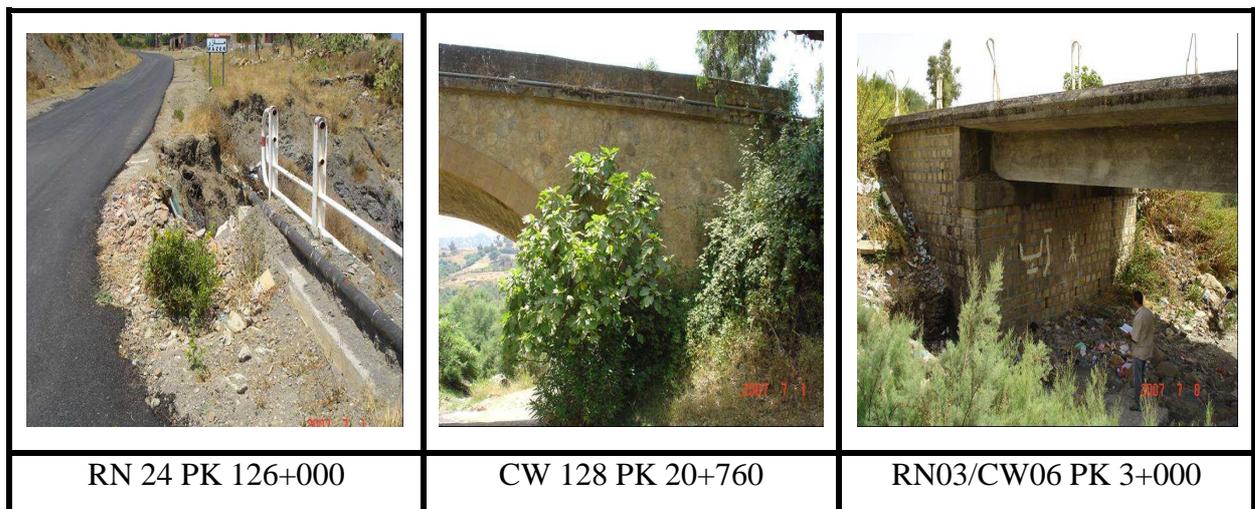


Figure IV.21: Défaut présente aux niveaux des garde-corps et glissières de sécurité.

VI.7 CONCLUSION DE SYNTHÈSE

Nous avons tenté d'établir une liste des défauts et les causes les plus fréquemment rencontrées à travers 50 ouvrages d'art d'une même wilaya. La description des désordres par catégorie d'éléments constituant l'ouvrage a été établie sur la base de constatations visuelles.

Sur la figure qui suit, il a été synthétisé sous forme d'histogramme les principales insuffisances constatées dans les ouvrages par ordre de fréquence.

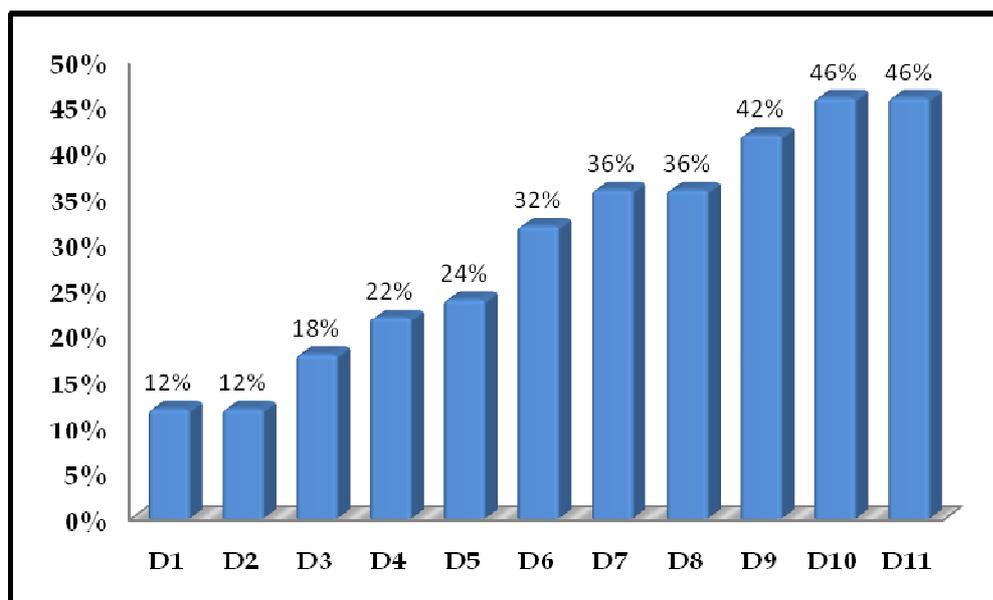


Figure IV.22: Les défauts et les causes les plus fréquemment rencontrées à travers 50 ponts.

Absence de gargouilles	D1
Dégradation des joints de la maçonnerie	D2
Erosion de lit d'oued	D3
Dégradation du béton et corrosion des aciers	D4
Absence de dispositif d'évacuation et gestion des eaux de ruissellement sur et aux voisinages du pont.	D5
Dégradation du béton des culées, des poutres et des dalles amplifiée par les infiltrations ;	D6
Défaillance de l'étanchéité du tablier	D7
Traces de venue des eaux sur les culées, les chevêtres et les tabliers	D8
Corrosion avancée des poutres métalliques	D9
Absence de joints de chaussée et trottoirs	D10
Affouillement	D11

Tableau IV.3 : Tableau indiciel pour les défauts et les causes les plus fréquemment rencontrées.

Les désordres enregistrés sont dus principalement à une absence d'entretien. Certaines dégradations pouvaient être évitées ou atténuées par un minimum d'entretien ne demandant pas de grands moyens matériels et financiers. Plus on diffère la réparation et l'entretien des ouvrages d'art, plus les dégradations s'accroissent, se compliquent et reviennent plus cher.

Partie 3 : Les défiances observées dans la gestion des ouvrages d'art en Algérie**VI.3.1 Les défiances observées dans la gestion des ouvrages d'art en Algérie****VI.3.1.1 Coté expertise :**

- Les contrats d'expertise « cahiers de charges » conclus avec les bureaux d'études ne sont pas élaborés d'une manière explicite qui permet de fixer les tâches qui doivent être remplies ; ce qui a engendré l'élaboration d'expertises généralement superficielles et ne permettant pas de juger convenablement l'état réel des ouvrages expertisés, ni les causes de leur dégradation ou les solutions préconisées pour leur réparation. Parfois les solutions proposées lors de ces expertises sont loin de remédier aux problèmes rencontrés.

➤ Exemple d'expertise élaborées en Algérie

Suite à une crue exceptionnelle, l'ouvrage objet de cette étude a subi des dégradations engendrant l'effondrement total de ce dernier, après examen et analyse le CTC-MILA a lancé les conclusions illustres dans la **Annexe D**

A. Description de l'ouvrage :

Il s'agit d'un pont en béton armé implanté sur la RN 77 au pk 101+350 Wilaya de SETIF. L'ouvrage est composé de deux travées indépendantes avec les caractéristiques géométriques suivantes :

Longueur	Largueur	La pile	Largueur de chaussé	Nombre des poutres	gabarit
18*2	10	3*1.1	7.60	9*2	2.60

B. Insuffisances, Lacunes et Critiques du rapport d'expertise :

- 1) Aucune justification n'a été mentionnée quant au dimensionnement, jugé satisfaisant par le CTC, ainsi que pour le gabarit annoncé insuffisant «?». **Alors qu'il aurait dû être établi par une étude hydrologique de l'oued franchi par l'ouvrage et la détermination de son bassin versant.**
- 2) Les mesures, signalées dans la conclusion de l'expertise, relatives aux essais non destructifs et qui ont permis au CTC d'établir ses conclusions sur la qualité des matériaux de construction (béton), **ne sont présentés dans aucun document du rapport «?»**
- 3) Concernant l'état apparent des appuis d'extrémités (culées) et les problèmes d'ordre structurel, le CTC a conclu qu'ils sont satisfaisants et qu'aucun tassement n'a été enregistré à leur niveau. **Cependant, des mesures ou des levés topographiques les justifiant ne**

sont pas là pour soutenir ces conclusions. D'autre part, le type d'effondrement enregistré dans notre cas n'a aucune relation avec l'état des culées restées intactes.

- 4) Les désordres et les anomalies cités dans le rapport d'expertise, d'après le CTC, ont causé la détérioration totale de l'appui central (pile) et l'ensemble du tablier «?»; **en réalité, ces désordres évoqués sont LA CONSEQUENCE INEVITABLE d'un AFFOUILLEMENT qui a généré un TASSEMENT DIFFERENTIEL IMPORTANT au niveau de la FONDATION DE L'APPUI CENTARL (PILES).**
- 5) A la fin de cette expertise, le CTC a jugé l'ouvrage irrécupérable, en orientant la DTP vers la solution de réaliser un nouvel ouvrage, *sans toutefois faire mention à des recommandations pour l'élimination des erreurs contenues dans le premier design. La cause principale qui était derrière la déstabilisation de l'ouvrage et qui aurait dû être prise en considération lors de toute autre nouvelle conception n'y est pas.*

C. Analyse et Recommandations :

Après l'exploitation du rapport d'expertise du CTC, de l'étude de sol, et des photos montrant les dégâts causés à l'ouvrage, nous pouvons annoncer que : **La cause principale qui était derrière la DESTABILISATION et L'EFFONDREMENT DE L'OUVRAGE est bien l'AFFOUILLEMENT qui a généré un TASSEMENT DIFFERENTIEL IMPORTANT au niveau de la FONDATION DE L'APPUI CENTARL (PILES).**

A notre point de vue les anomalies que nous avons constaté peuvent se résumer comme suit :

- **Pile centrale :** L'erreur de conception représentée dans l'implantation de l'appui central à l'axe de l'oued a été fatale. La preuve est sur place et se traduit dans l'ancien ouvrage (réalisé à l'ère coloniale) et qui a été conçu en une seule travée sans appui intermédiaire, est resté intact et a survécu à toutes les épreuves à travers des années, même à celle à laquelle notre ouvrage, pourtant plus récent, a succombé. C'est à cause de l'appui central que notre ouvrage présente, et qui est implanté à l'axe de l'oued, que l'affouillement au niveau de ses fondations l'a pratiquement détruit.
- **Hauteur de gabarit :** Le concepteur de notre ouvrage l'a réalisé avec une hauteur de gabarit inférieure à celle de l'ancien ouvrage et n'a même pas tenu compte de cette dernière sans aucune justification ; cette modification a engendré le débordement de l'eau concernant notre ouvrage alors que l'ancien s'est très bien comporté.

- **Type de fondation :** La pile centrale repose sur des fondations superficielles qui ne sont pas recommandées dans des cas similaires (*appui implanté dans le lit d'oued*) à cause de leur vulnérabilité devant le phénomène d'affouillement.
- **Etude de sol et batardeaux:** nous montre que la profondeur d'affouillement calculée est de 6m et les batardeaux devraient être conçus en conséquence; les données sur le profondeur d'affouillement de notre ouvrage étant absentes, nous amène à mettre les probabilités suivantes:
 - ✓ Soit la profondeur d'affouillement calculée est erronée;
 - ✓ Soit la réalisation des batardeaux présente des insuffisances;
 - ✓ Soit une absence des travaux d'entretien a perdurée;
 - ✓ Soit les dimensions et spécialement le rayon des fondations nous a ramène a réaliser des batardeaux trop grands et a engendré la perturbation de l'écoulement des eaux au niveau de l'ouvrage.



Figure IV.23 : Illustration de l'ancien ouvrage et les dégradations de notre ouvrage

VI.3.1.2 Autres défaillances :

- L'absence de systèmes de contrôle des expertises élaborées par les BET.
- L'absence de la collaboration et de coordination entre les différents intervenants dans la gestion des ouvrages, comme par exemple les Directions des Travaux Publics des différentes Wilayas, nous a amené à des cas de dégradations similaires qui se sont répétées au niveau de plusieurs endroits sans que les dispositions préventives qui pouvaient les éviter n'aient été prises à l'avance (percussion des tabliers de plusieurs ponts par des engins hors gabarit).
- Absence des indices d'importance des ouvrages d'art qui prennent en considération : l'importance historique, l'axe de situation, la possibilité ou non de déviation, le cout de construction ...etc. Une simple relation entre l'indice d'importance et l'indice de gravité peut être proposée et permet de conclure à un indice qui peut être dit d'intervention : permettant une classification des ouvrages selon leur nécessité d'intervention pour prendre en charge les cas les plus importants selon le budget annuel alloué aux réparations.
- Les inventaires réalisés sont établis sur la base de données superficielles telles que les caractéristiques géométriques, les types des matériaux utilisés, ...etc., et présentent un manque ou absence de données détaillées qui devraient normalement comporter toutes les informations nécessaires pour réaliser un suivi rigoureux pour les ouvrages.
- Absence totale de l'encadrement d'une main d'œuvre spécialisée dans le domaine de l'entretien même si celui-ci est courant ;
- L'orientation des activités des maisons cantonnières relancées dans ces dernières années vers l'entretien des routes seulement ;
- Présence d'un manque, dans le guide d'entretien des ouvrages d'art, concernant les visites périodiques d'évaluation de leur état, pourtant essentielles à leur gestion, comme pour l'exemple des visites d'évaluation de l'état des ouvrages et de leur fonctionnalité avant et après les saisons des intempéries ainsi que des visites de constatation des dommages (crue, séisme...etc.) ;
- Plus de 90% des ouvrages sont conçus avant l'élaboration du Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art (RPOA), et par conséquent, la majorité de ces ouvrages ne sont pas conformes à ce règlement.
- ❖ L'inexistence absolue d'une collaboration entre l'université et les organismes de gestion des ouvrages d'art ; et cela peut être constaté dans :

- ✓ Absence d'une formation spécialisée de cadres gestionnaires ou de réparation des ouvrages d'art ;
- ✓ Les recherches scientifiques sur ce sujet réalisées à l'université sont totalement loin de refléter les problèmes réels rencontrés sur terrain ;
- ✓ Aucune collaboration avec l'université n'est assurée, dans les cas complexes, pour avoir le point de vue des spécialistes ; et aucune politique de gestion n'est soumise à l'avis ou au contrôle préalable des chercheurs ;
- Absence totale des données de réparation des ouvrages réalisées au niveau national telles que : durabilité des réparations, méthodes les plus courantes, matériaux utilisés, techniques de réparation ...etc. ;
- Le nombre des entreprises spécialisées dans le domaine de réparation des ouvrages d'art est très limité, ce monopole a engendré un affaiblissement la concurrence et le développement dans ce domaine a été ralenti et attardé relativement aux pays développés.
- L'absence des statistiques rigoureuses et approfondies, sur les principales pathologies et leurs causes et les solutions réussies dans notre pays, nous a privés de bénéficier du retour d'expérience ; et les défauts de construction ou de conception sont restés cachés et non connus « donc les même erreurs sont répétées dans plusieurs ouvrages » ;
- Absence des règlements concernant les matériaux de construction et les dispositions constructives selon le contexte algérien ;
- Le manque d'entretien courant des ouvrages (réalisé par la régie) peut être classé comme le facteur n°1 dans la dégradation des ouvrages d'art en Algérie.

VI.3.2 Proposition et Recommandations

Dans cette partie on va essayer de mettre quelques proposition peut être utile dans la gestion des ouvrages d'art.

VI.3.2.1 La Proposition De La Fiche D'identification Et Inspection De L'ouvrage

Dans la **fiche d'identification**, illustrée dans l'**Annexe F**, on a essayé d'exposer toutes les informations nécessaires pour la gestion d'un ouvrage. Elle se présente comme une carte d'identité de l'ouvrage.

La collecte de l'ensemble des informations (telles que : les caractéristiques de situation et de conception et de géométrie, l'existence du dossier technique et sa vérification, etc...), une fois établie d'une manière explicite, nous aide à identifier l'ouvrage, nous permet de connaître son

importance historique et stratégique et d'estimer sa valeur financière. Ainsi les prévisions sur les risques encourus peuvent être déduites et ceci constitue une sorte d'assistance au gestionnaire de l'ouvrage.

Dans la **fiche d'inspection**, illustrée dans l'**ANNEXE G**, on a essayé de décrire les dégradations et les pathologies ayant affecté l'ouvrage et de localiser leur emplacement.

Nous avons aussi essayé autant que possible, d'introduire le maximum de pathologies et de dégradations connues affectant les ouvrages, tout en tenant compte de la relation « dégradation – emplacement – cause ». On a aussi pris en considération l'état des anciennes réparations ainsi que le fonctionnement des équipements et accessoires. Les emplacements des pathologies se définiront soit par la description de l'emplacement, soit par indication sur le schéma descriptif de l'ouvrage.

Enfin, cette fiche constitue une sorte de pré-diagnostic de l'ouvrage, car elle permet de poursuivre toutes les étapes nécessaires pour la détermination de son état, et nous aide à établir la nature et la localisation et la gravité des désordres; ainsi, la mission du chargé d'inspection est facilitée et cela lui permet de proposer un programme d'action.

VI.3.2.2 Les Différentes Etapes A Suivre Pour Réaliser Le Projet De Réparation D'un Pont :

Dans l'organigramme suivant, on a établi les différentes étapes jugées nécessaires pour entamer un projet de réparation d'un ouvrage ; ces étapes sont bien détaillées dans la partie bibliographe.

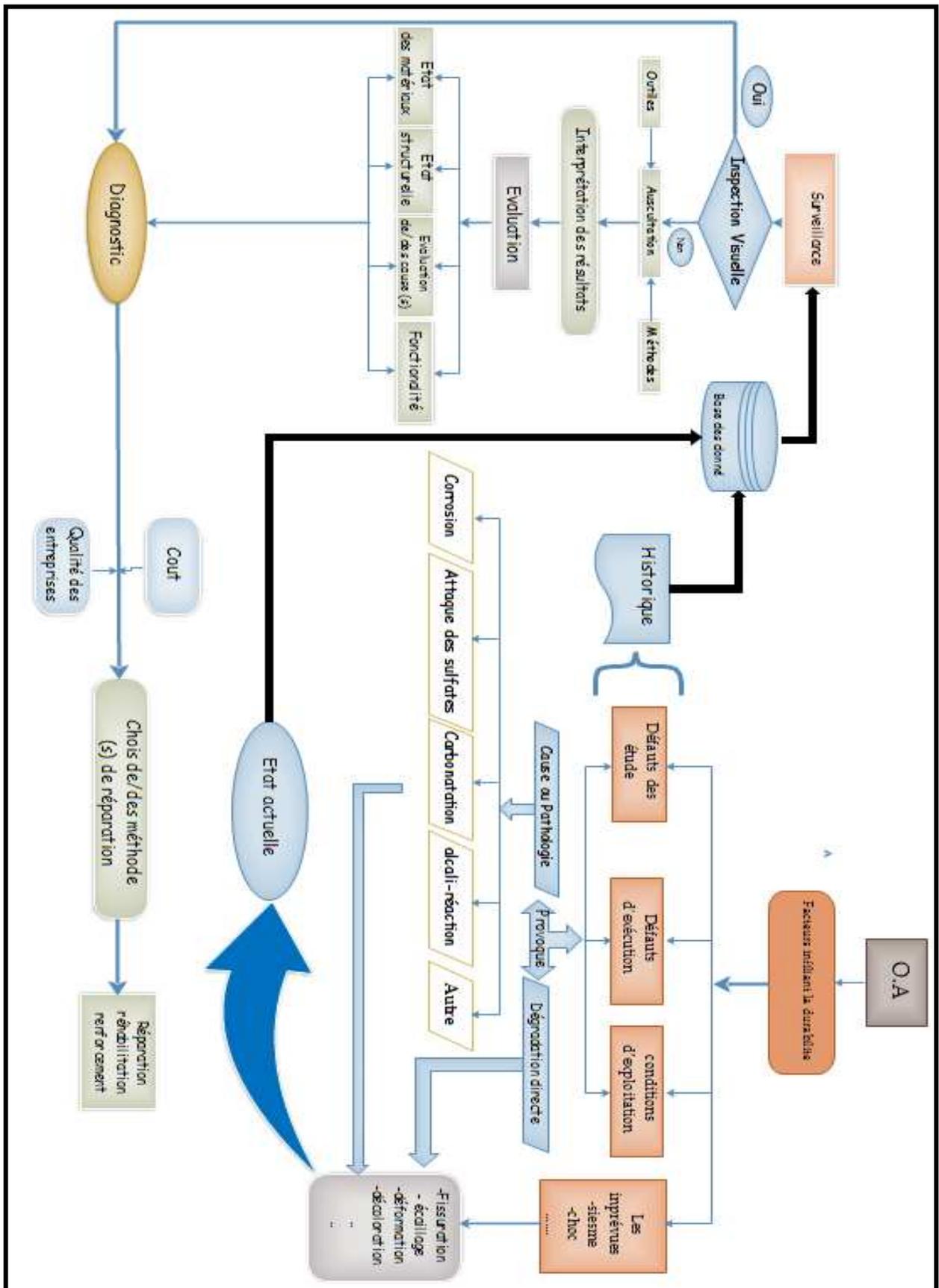


Figure IV.24: Organigramme Présente Les Déféréntes Etapes A Suivre Pour Réaliser Le Projet De Réparation D'un Pont

VI.3.2.2 Recommandations :

- Tenir en compte la problématique de la durabilité les processus de vieillissement dans la conception et la réalisation des ouvrages.
- Mettre en place un contrôle rigoureux sur les opérations de conception et construction des ouvrages comme un 1^{ère} étape de protection de notre ouvrage
- Procéder au recensement exact et précis de tout le patrimoine d'ouvrages sur le réseau routier (l'outil informatique contribuera pour beaucoup de précision).
- Intégrer aussi bien les données que le retour d'expérience ou encore les données extérieures disponibles ;
- Procéder au recensement exact et précis de tous les travaux de réparation ainsi que leurs durabilités, réalisé à travers le territoire nationale.
- Procéder à la collaboration entre les différents organismes intervenant dans la gestion des ouvrages et pourquoi pas une collaboration importante avec les universités.
- Exploitez les politiques de gestion qui ont déjà été utilisée avec succès pour des infrastructures à forts caractères que la nôtre.
- Classifier et hiérarchiser les ouvrages afin de évalue l'importance de chacun d'eux.
- Procéder une inspection détaillée de tous les réseaux pour l'établissement de documents de références sur l'état de chaque ouvrage (archives, documents reconstitués, ...).
- Elaborer et maitre en application un Guide de gestion des ouvrages d'art, et il faut qu'il soit assez générale pour être appliquée à n'importe quel type d'infrastructure et permette l'exploration de tous les modes de dégradation et défaillance.
- Elabore des cahiers de charges très précis pour le contrat d'expertise, plus performante.
- Assurer une formation au personnel chargé de la surveillance et entretien.
- Encouragés l'investissement dans le domaine de réparation des ouvrages pour évite le monopole et aller vers le développement du domaine.
- Mettre en place une organisation conséquente pour l'application du programme de surveillance.
- Assurer un personnel stable chargé de la surveillance.
- Une enveloppe nécessaire doit être établie et évaluée à partir de la surveillance et des expertises de détails. Cette enveloppe résulte de la sommation des évaluations établies pour chaque pont pris individuellement.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

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 menassent 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 intervention 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 conclusion suivantes :

Dans la partie bibliographie on a arrivé à :

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

Dans la deuxième partie aux les conclusions suivantes:

- Une vue générale sur le parc des ouvrages d'art dans notre pays, basés sur l'inventaire réalisé par le MTP en 2006 même si il ne s'appuie que sur des observations visuelles
- ✓ Le parc des ouvrages en Algérie est un ensemble très hétérogène sur le plan typologie et matériaux utilisés, dans la grande part des ponts sont construits en béton armé avec un effectif total de 57.29%.
- ✓ Le patrimoine des ouvrages d'art est relativement récent car environ 76% des ponts gérés par la direction de l'exploitation et de l'entretien des routes ont moins de 50 ans,
- ✓ Plus de 45% des ouvrages sont en mauvaise ou en état inconnu ce qui présente l'absence de la surveillance rigoureuse.
- La cause principale de la dégradation dans tous les cas étudiés est due par l'absence d'entretien. Certaines dégradations pouvaient être évitées ou atténuées par un minimum d'entretien ne demandant pas de grands moyens matériels et financiers.

- On a essayé aussi établir quelques défaillances dans la politique de gestion des ouvrages d'art différentes défaillances remarquées dans la politique Algérienne de gestion des ouvrages d'arts, de points de vues : réglementation, gestion, formation et perfectionnement du personnel, études et expertises.
- Et à la fin de cette thèse on a mis quelques recommandations peuvent être le noyau pour mettre une vraie politique de gestion.
- Les différentes étapes à suivre pour mettre en place une réparation adéquate, traduisant dans un organigramme.

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

Compte tenu du manque d'expérience qu'on a et le temps limité de cette recherche, des insuffisances et des lacunes de traitement du problème peuvent être décelés, car l'étude en question s'appuie essentiellement sur des statistiques et des observations visuelles, peut passer à côté des informations capitales concernant le sujet que ce soit au point de vue évaluation des états des ouvrages existants ou les données recueillies auprès du ministère des travaux publics (M.T.P.) demeure la seule source fiable.

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 de vue faisabilité et durabilité.
- ✓ Proposer des systèmes de gestion des ouvrages d'art dans lesquels 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 manière permettant l'élaboration des facteurs influant cette durabilité à travers les différentes régions.
- ✓ Choisir quelques ouvrages précis, pour suivre l'évolution des phénomènes de dégradation et confirmer ou infirmer les constats sur la dégradation la fiabilité des méthodes et matériaux de réparation dans les conditions agissant dans notre pays.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] A.PLUMIER « *Pathologie Et Réparations Structurelles Des Constructions Partie III* » ArGenCo, édition 2006.
- [2] ACI Committee 222, « Protection of Métaux in Concrete Against Corrosion » American Concrete Institute *Matériaux Journal*, 2001.
- [3] ACI Committee 364, « Guide for evaluation of concrete structure prior to rehabilitation », *ACI Materials Journal*, 1993.
- [4] Ahmed Al-Ostaz FINAL REPORT “Diagnostic evaluation and repair of deteriorated Concrete bridges” DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY OF MISSISSIPPI 2004
- [5] Association mondiale de la Route « Etude Sur Les Actions De Réhabilitations Des Ponts En Béton » 2005.
- [6] BREYSSE D., ABRAHAM O., « Méthodologie D'évaluation Non Destructive De L'état D'altération Des Ouvrages En Béton », ISBN 2-85978-405-5, Presses de l'École Nationales des Ponts et Chaussées (Paris), 555 p. (2005).
- [7] Bruhwiler E. « Maintenance Des Ouvrages » Cours EPFL, Lausanne, Suisse, 2004.
- [8] « Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussés », Les Ouvrages D'art, Ministère de l'environnement et cadre de vie -Ministère des transports, Décembre, 1978.
- [9] CALGARO J. A. & LACROIX R., «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.
- [10] Défauts apparents des ouvrages d'art en béton Ministère De L'équipement Français Service D'études Techniques Des Routes Et Autoroutes Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussées 1975
- [11] Durable Concrete Structures Design Guide Published by Thomas Telford Services Ltd 1997, p 112.
- [12] FENZ M., Strengthening of the Mur Bridge near St. Michael / Austria by use of additional external prestressing, 11e Congrès de la fib - Hamburg, 1990.
- [13] François Paradis Thèse Doctorat « Influence De La Fissuration Du Béton Sur La Corrosion Des Armatures Caractérisations Des Produits De Corrosion Formes Dans Le Béton » Faculté Des Sciences Et De Génie Université LAVAL MARS, 2009
- [14] François, R., Arliguie, G., Maso, J.C., 1994, «Progrès Dans La Construction Par La Maitrise De La Fissuration Du Béton Hydraulique », Rapport de synthèse LMDC, France.
- [15] GADRI KARIMA Contribution A L'étude D'un Béton De Sable Avec Fibres Et Résine Destine Pour La Réparation Mince Des Structures Mémoire de Magistère. Université De Biskra Faculté Des Sciences Et Sciences De L'ingénieur Département De Génie Civil Laboratoire De Génie Civil.
- [16] « Gestion des ouvrages d'Art » Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1994, 593 p.
- [17] Glossaire Des Matériaux Composites – CARMA –Actualisation octobre 2006
- [18] GRAYBEL b., phares B., ROLANDER D., MOORE M., WASHER G., Visual Inspection of Highway Bridges, *Journal of Non-destructive Evaluaton*, Vol. 21, Issue 3, pp. 67-83

- (September 2002).
- [19] Guide Book On Non-Destructive Testing Of Concrete Structures, International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2002,
- [20] Hassani, F.P. et al. « Méthodes d'inspections non destructives pour la détection des fissures dans le béton ». Rapport IREQ-96-111, Hydro-Québec, Vice-présidence Technologie et IREQ, Varennes (1996).
- [21] Hicham Belhannachi Thèse Magistère « Réhabilitation Et Renforcement Des Poteaux En Béton Arme » Université Mentouri, Constantine 2009.
- [22] Hikmat Al Hajjar Thèse Doctorat « Applicabilité Et Efficacité D'une Protection Galvanique Aux Aciers De Précontrainte » Université Paul Sabatier 2008.
- [23] Houssain Rochdi Thèse Doctorat « Contribution A L'analyse Du Comportement Mécanique De Dalles En Béton Arme Renforcées Par Matériaux Composites » L'université Claude Bernard - LYON 1 2004.
- [24] Image de la Qualité des Ouvrages d'Art - Catalogue des principaux désordres – Aide à leur classification, 'Pont à poutres sous chaussée en béton armé', Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes – SETRA, 1996, pp. 34 -43.
- [25] Inspection and monitoring techniques for bridges and civil structures Edited by Gongkang Fu First published 2005, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, p265.
- [26] J. Skalny, J. Marchand and I. Odler "Sulfate Attack on Concrete" édition Taylor & Francis e-Library, 2003 217p.
- [27] Jacobsen. S, Gerard .B, Marchand. J, "Concrete cracks, observation, selfhealing, permeability and durability - review, Rapport 1.4, Norges forskningsrad, Norvege, 1998, ISBN 8253606176
- [28] JACQUELINE LLANOS “ La Maintenance Des Ponts Routiers Approche Economique” Press de l'école national des pont et chaussées. 175p, 1992.
- [29] Jamel Neji Ingénieur ETP - Docteur Ecp Enseignant à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis "*Le Projet Routier*" publier par Centre des Publication Universitaire 2005 p198
- [30] Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT «*La durabilité des bétons*» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.
- [31] Kedjour Naser-Eddine "*Propriété et pathologie du béton*" PUBLIE PAR OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERCITAIRES 1993 269P.
- [32] Lapointe, R. Mémoire de maîtrise « Contribution à l'étude des méthodes d'injection des fissures dans le béton » Université de McGill, Montréal (1997).
- [33] M. Thiery, P. Dangla, G. Villain et G. Platret, « Modélisation du processus de carbonatation des matériaux cimentaires ». In 1er Congrès International sur la Technologie et la Durabilité (C.I.T.E.D.U.B), Page 1-10, Alger (Algérie) 2004.
- [34] M.B. Otieno, M.G. Alexander & H.D. Beushausen University of Cape Town, South Africa « *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II* » Alexander et al (eds) Taylor & Francis Group, London, 2009, 457p
- [35] M.G. Alexander and S. « *Mindess Aggregates in Concrete* » 311-312.
- [36] MANUAL OF CONCRET PRACTICE . PART1 State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity REPPORT BY ACI COMMETEE 221. recommandation ACI 221.1R-98 American concret institute, framington 2005.

- [37] MANUEL D'ENTRETIEN DES STRUCTURES 2007 "Québec"
- [38] Mellas Mekki « cours béton in situ » universite Mohamed khider – Biskra faculté des sciences et sciences de l'ingénieur département de génie civil année universitaire 2005/2006.
- [39] MOISSON Marc « Contribution à la maitrise de la réaction Alkali silice par ajout de fines de granulats réactifs dans le béton » THESE Doctorat de L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 2005
- [40] Norbert Delatte ; « *Failure, distress and repair of concrete structures* » by Woodhead publishing limited 2009 p 323 “Bétons renforcés par les fibres”.
- [41] Oualit Mehena Mémoire de Magistère « Indicateurs de durabilité du béton dans le contexte Algérien », Université M'Hamed Bougara- BOUMERDES 2009
- [42] P. Rossi. « Les bétons de fibres métalliques ». Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 1998.
- [43] P.Kumar Mehta Paulo J.M.Monteiro « *Concrete Microstructure, Properties, and Materials Third Edition* » Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley publie par McGraw-Hill 2006 p 647.
- [44] R. WINSTON REVIE « *UHLIG'S Corrosion Handbook Third Edition* » by John Wiley & Sons 2011 p634
- [45] R.J.COPE "*Concrete Bridge Engineering Performance And Advances*" Plymouth Polytechnic UK ; published in the Taylor & Francis e-Library, 2004. P 328.
- [46] Rapport préliminaire de la mission AFPS Organisée avec le concours du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SDPRM) « LE SÉISME DU 21 MAI 2003 EN ALGÉRIE » Version du 8 juillet 2003.
- [47] Règlement parasismique des ouvrages d'art version 2006,
- [48] S. Bonnet. « Matériaux cimentaire à haute déformabilité par incorporation de granulats issus du broyage de pneus usagés ». Thèse d'université de Toulouse 3. 2004.
- [49] Samuel Naar Thèse De Doctorat «Evaluation Non Destructive Du Béton Par Mesures De Résistivité Electrique Et Thermographie Infrarouge Passive » l'université de Sherbrooke faculté de génie -département de génie civil et l'université bordeaux lécole doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur mai 2006.
- [50] Schiessl, P., 1986 « Influence des fissures sur la durabilité du béton armé et éléments en béton précontraint » Comité allemand du béton armé, pp 11-52
- [51] Selma Haouara « les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton arme dans la région de Biskra » Mémoire de Magistère 2004 universités de Biskra faculté des sciences et sciences de l'ingénieur Département de Génie Civil laboratoire de génie civil.
- [52] SIDNEY M, JOHNSON traduit par MICHEL LONDEZ « *dégradation, entretien et réparation des ouvrages du génie civil* » Edition EYROLLES 1969, 439 p
- [53] T. D. MARCOTTE, C. M. HANSSON, B. B. HOPE, « The Effect Of The Electrochemical Chloride Extraction Treatment On Steel-Reinforced Mortar », Cement and Concrete Research 29, 1999, pp 1561-1568.
- [54] Technique de l'ingénieur C 2 252 « Alkali-réaction dans le béton Mécanisme, pathologie et prévention» par Bruno GODART et André LE ROUX.

- [55] Technique de l'ingénieur C 4 502 « Pathologie et évaluation des ponts existants » par Jean-Armand CALGARO et Roger LACROIX.
- [56] Technique de l'ingénieur C 4 503 « Projet de renforcement ou de réparation d'un pont » par Jean-Armand CALGARO et Roger LACROIX.
- [57] Techniques de l'Ingénieur, traité Construction C 2 317 « Pathologie et réparation des ouvrages » par Jean PERCHAT.
- [58] V. T. Ngala et G. L. Page, (1997). Effects of carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 27(7): 995-1007.
- [59] Veronique Desbiens, Projet d'application « Restauration De La Stabilité Et De La Rigidité Des Ouvrages En Béton Par La Méthode De L'injection », Université de MONTREAL , Mai 1998.
- [60] Véronique NOBEL PUJOL - LESUEUR Thèse Doctorat « Etude Du Mécanisme D'action Du Monofluorophosphate De Sodium Comme Inhibiteur De La Corrosion Des Armatures Métalliques Dans Le Béton » Université PARIS 6 - Université PIERRE ET MARIE CURIE - 2004
- [61] Won Song, Seung- Jun Kwon, Keun-Joo Byun et Chan-Kyu Park, (2005). Predicting carbonation in early-aged cracked concrete. *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 979-989.
- [62] www.enseeiht.fr
- [63] Y. F. Houst et F. H. Wittmann, (1994). « Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO₂ and O₂ through hydrated cement paste » *Cement and Concrete Research*, 24(6): 1165-1176.

Autre :

Association Routière Algérienne « II^{ème} congrès algérien de la route Annaba 08-09-10 Décembre 1996 communication Tome 2 »

Rapport final de l'Expertise Technique Approfondie des Ouvrages d'Art de TIZI-OUZOU 2010
BET SETS -SETIF

ANNEXES

Annexe A :

LEXIQUE DES PARTIES D'OUVRAGES

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.

Dans toutes les nomenclatures des différents types d'ouvrages, le lexique commun suivant revient toujours :

- **Fondation** : désignant la partie enterrée de l'ouvrage, assurant la liaison entre l'appui et le sol support.
- **Infrastructure** : désignant la partie de l'ouvrage commençant à partir des fondations jusqu'aux sommets des appuis.
- **Superstructure** : désignant le tablier ou la structure porteuse plane reposant sur les appuis de l'ouvrage.
- **Intrados** : désignant la partie sous la voûte ou le tablier de l'ouvrage.
- **Extrados** : désignant la partie extérieure de l'ouvrage.
- **Tablier à travées continues** : tablier à travées solidaires au niveau des éléments porteurs et dalle sur l'ensemble des travées (structure hyperstatique).
- **Tablier à travées indépendantes** : tablier à travées discontinues sur appuis.
- **Ouverture** : distance entre nus d'appuis adjacents.
- **Portée** : distance entre axes d'appuis adjacents.

Par ailleurs, on retrouve un lexique propre à chaque type ou partie d'ouvrage, à savoir :

Fondations : Trois (03) types de fondations sont recensés :

- **Superficielle** : radier général ou semelle.
- **Semi-profond** : puits, massifs en gros béton.
- **Profonde** : pieux battus (en bois ou métalliques), pieux forés, parois moulées.

Appuis : diverses formes et conceptions sont rencontrées :

1. Appui intermédiaire :

- **Semelle** : Dalle en béton reportant au sol support ou aux fondations les efforts ramenés par l'appui.
- **Colonne** : poteau de forme circulaire ou en forme de polygone à côtés réguliers.
- **Poteau** : appui de forme rectangulaire ou carrée
- **Barrette** : appui de forme rectangulaire dont la dimension longitudinale est plus importante que la dimension transversale.
- **Palée** : pile à plusieurs fûts ou poteaux, reliés par une traverse.
- **Chevêtre** : poutre horizontale ou traverse supérieure d'une pile destinée à recevoir les charges concentrées du tablier.
- **Pile en voile massif**, mince ou ajouré.
- **Pile marteau** : en forme de marteau²²²
- **Pile culée** : appui intermédiaire ayant à supporter une force très inclinée.

- Avant-bec : partie profilée de la pile en cours d'eau, du côté amont, destinée à dévier les corps flottants charriés et à réduire le remous du courant.
- Arrière-bec : partie profilée de la pile en cours d'eau, du côté aval, destinée à réduire le remous du courant.

2. Appui de rive :

- Culée remblayée : remblayée derrière le mur de front.
- Culée creuse : non remblayée derrière le mur frontal pour diminuer des poussées des terres.
- Culée enterrée : appui d'extrémité, dont les colonnes ou poteaux sont enterrés dans les remblais d'accès sur toute leur hauteur ou sur la majeure partie.
- Culée en terre armée : employant le procédé de la terre armée pour constituer le corps de la culée, surmonté d'un sommier d'appui en béton pour le tablier d'ouvrage.
- Corbeau : élément en saillie pour l'appui de la dalle de transition derrière le mur de front ou le mur garde grève.
- Dalle de transition : dalle sur remblais de culée assurant la continuité de la chaussée courante sur tablier sans dénivellation quelconque.
- Mur de front ou mur frontal.
- Mur garde grève.
- Mur en retour.
- Mur en aile (ouvert à un maximum de 180°).
- Sommier.
- Dé d'appui.
- Perré : protection des remblais et talus contre l'érosion.

Structure d'ouvrage ou de tablier :

1. **Ponts en maçonnerie** : Le lexique suivant est rencontré dans la nomenclature des ouvrages en maçonnerie :

- Piédroit, culée.
- Voûte : naissance, rein, clé, bandeau, douelle et remplissage de voûte.
- Mur de tête ou tympan : mur s'élevant au dessus de la voûte et se prolongeant vers culées pour former les murs en retour.
- Plinthe : pierre de couronnement du mur tympan.
- Parapet : Dispositif de retenue latérale, constitué par le fût et couronné par le bahut, ou garde corps métallique.
- Maçonnerie : pierre de construction (blocs équarris, moellons ordinaires, pierre de taille, ...).
- Ponts en béton :
- Poutres : élément avec ou sans table de compression ou rectangulaire.
- Ame : partie mince de la section transversale de la poutre.
- Talon (supérieur et inférieur) : partie épaissie de la section transversale de la poutre.
- Blochet : partie de la poutre sur-épaissie de l'âme vers les extrémités de la poutre
- précontrainte.
- Voussoir : Elément de tablier e forme de caisson.
- Caisson : section transversale fermée et évidée.

- Dalle de roulement : dalle assurant la solidarisation de la poutraison inférieure, le passage des véhicules sur l'ouvrage et la répartition des surcharges sur les éléments porteurs.
- Pré-dalle : dalle mince disposée entre poutres adjacentes pour servir de coffrage perdu à la dalle de roulement.
- Entretoise : Poutre disposée dans le sens transversal du tablier, reliant les poutres porteuses principale.
- Pont à poutres latérales triangulées ou à âme pleine.
- Triangulation : type Warren avec et sans montant, Pratt, Croix St André, ...
- Bow-string (terme anglais désignant : arc au dessus).
- Arc, montant, diagonale.
- Tablier inférieur, intermédiaire ou supérieur.
 - Dalle pleine.
 - Dalle élégie.
 - Encorbellement de dalle.
 - Dalle nervurée/Nervure. Ame (de poutre ou de caisson).

3. Pont métallique :

- Poutre triangulée : constituée par l'assemblage de barre de différentes formes et dimensions, disposées suivant le schéma de la triangulation choisie.
- Triangulation : type Warren avec et sans montant, en croix de Saint André et Pratt.
- Poutre à âme pleine : Aucun évidement de la masse de l'âme, reconstituée par soudure ou par rivetage (ouvrages anciens).
- Plaque d'assemblage.
- Semelle.
- Gousset.
- Pièce de pont ou entretoise.
- Contreventement (supérieur, inférieur).
- Longeron.
- Platelage métallique.
- Tôle emboutie.
- Plaque.
- Raidisseur.
- Rivet, boulon, soudure, cordon de soudure.

4. Pont suspendu :

- Pylône : Appui de grande hauteur.
- Câble porteur auquel est suspendu le tablier.
- Suspente : élément permettant le report des charges du tablier au câble porteur.
- Selle : pièce permettant l'infléchissement du câble sur pylône.
- Collier : pièce permettant l'attache de la suspente au câble porteur.
- Chariot : appareil mobil en tête de pylône reliant des câbles situés de part et d'autre du pylône.
- Massif d'ancrage des câbles porteurs.
- Boite à lest : réservation pour lest afin de créer un contrepoids dans un massif d'ancrage ou à l'about du tablier (ponts suspendus auto-ancrés).

Equipements :**Appareils d'appui :**

- Néoprène fretté.
- Balanciers (métalliques ou en béton).
- Rouleaux.
- Galets.
- Articulation.

Dispositif d'évacuation des eaux :

- Larmier.
- Cunette.
- Avaloir.
- Gargouille.
- Descente d'eau.

Joint de chaussée :

- Joint peigne.
- Joint de dilatation.
- Couvre-joint.
- Bavette.

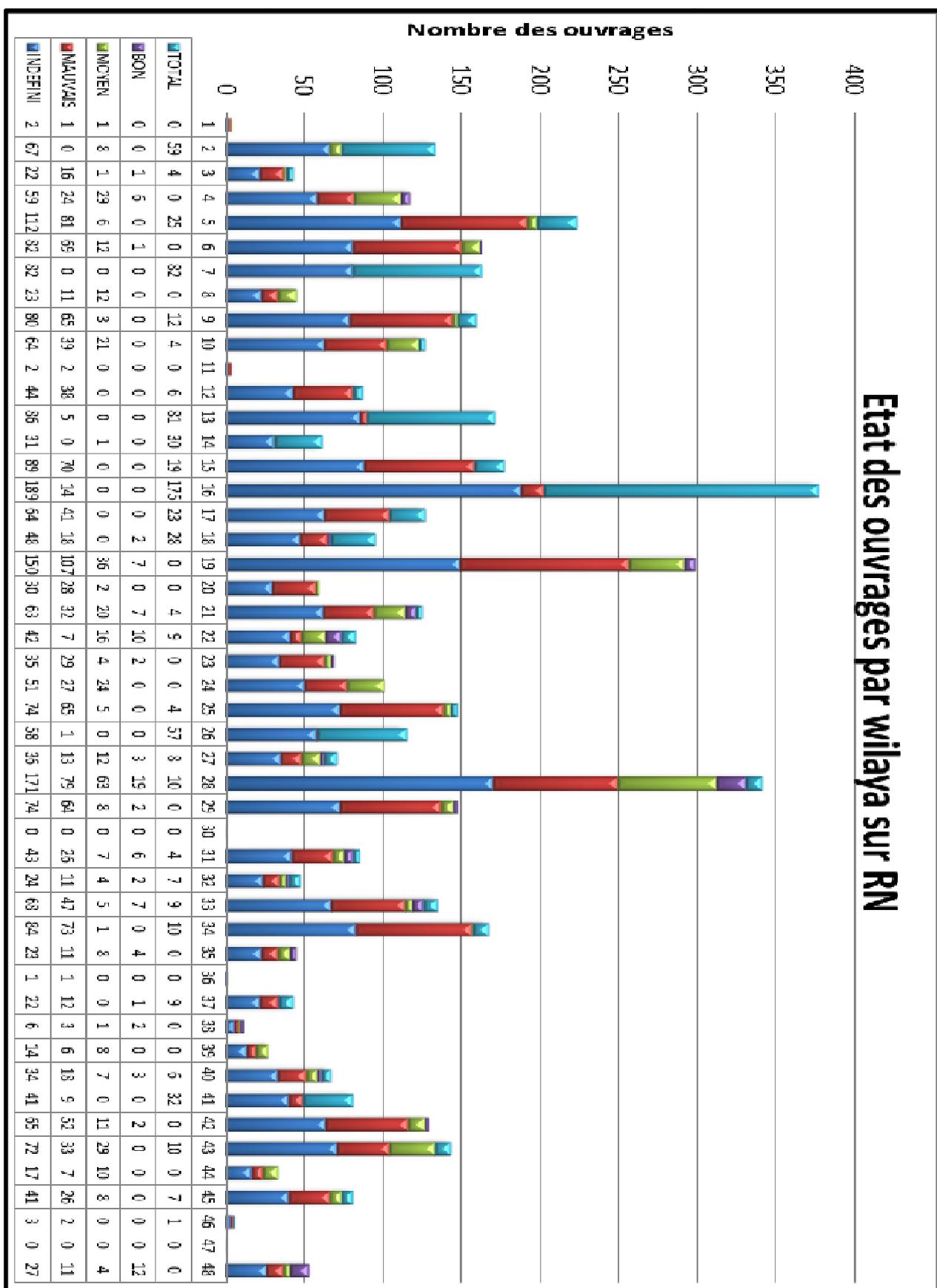
Bordure et trottoir :

- Bordure et contre bordure.
- Corniche et contre corniche.
- Dalette de trottoir.
- Réservations pour gaines et câble

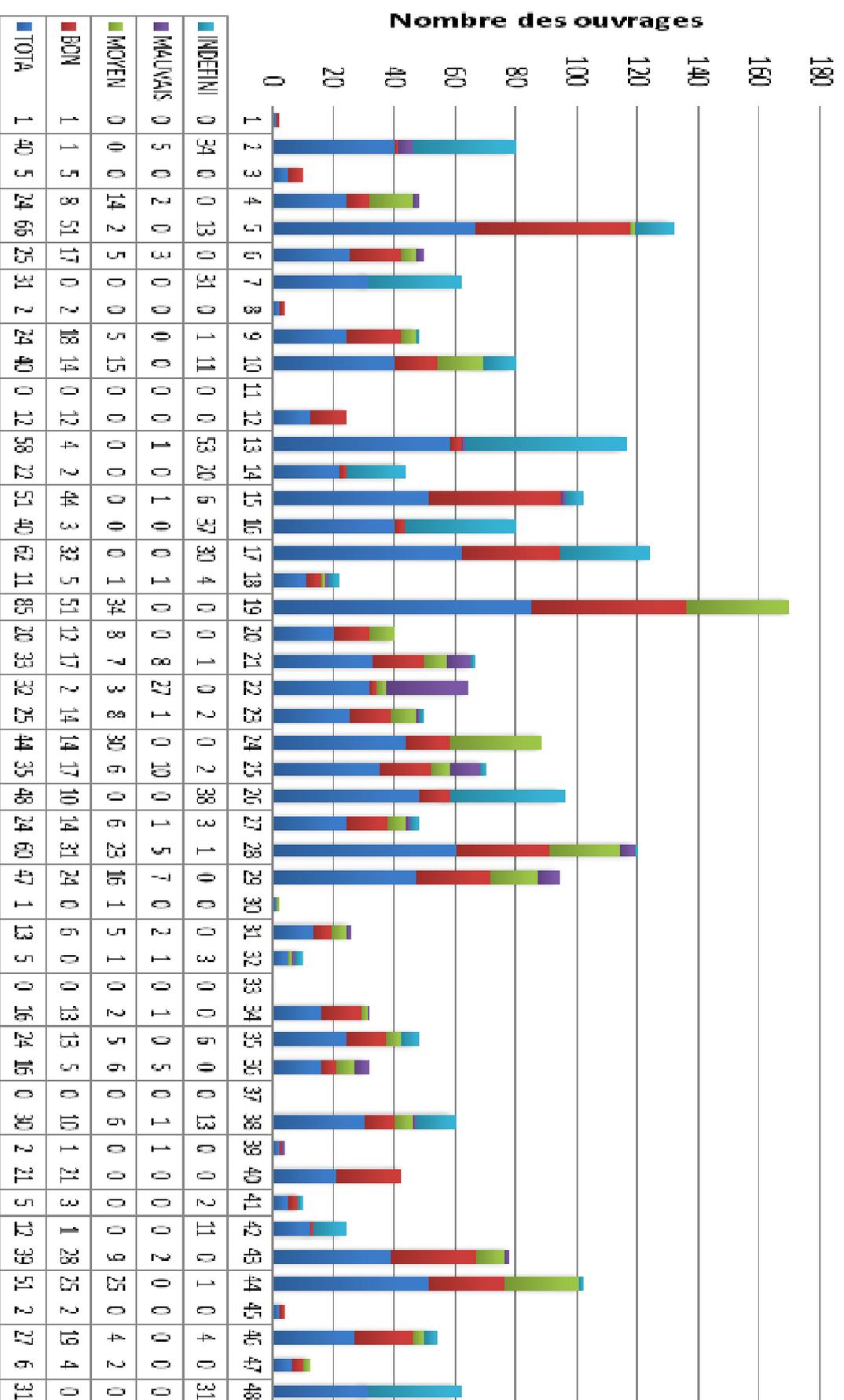
Dispositif de retenue latérale :

- Garde corps, main courante.
- Glissière de sécurité.
- Barrières (BN1, BN2, BN3 & BN4).
- Séparateur en béton (GBA et DBA).

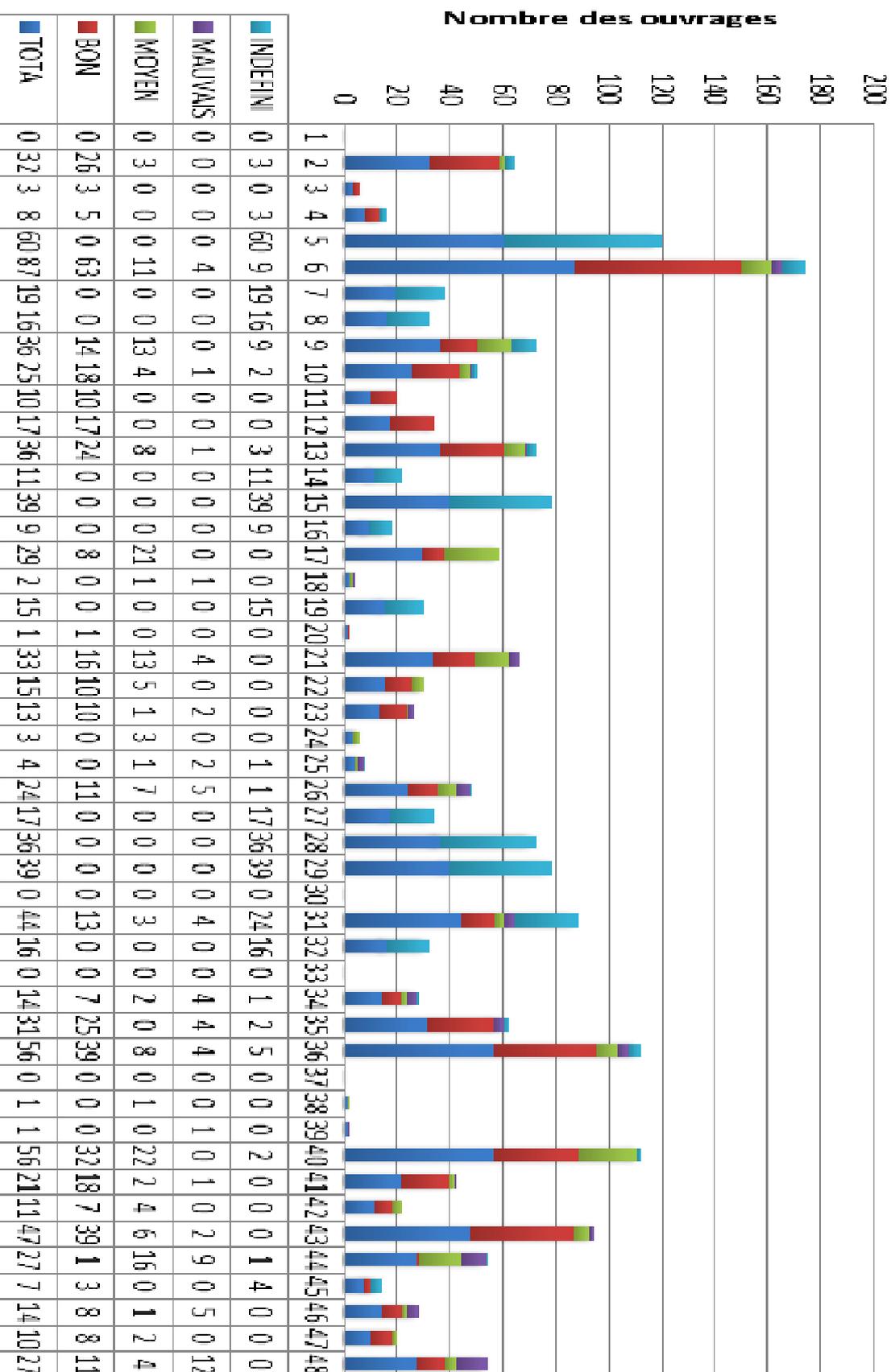
Annexe B : Etat des ouvrages d'arts par Wilaya sur RN, CW et CC



Etat des ouvrage en cw



Etat des ouvrage en CC



AnnexeC : Liste des 50 ouvrages étudiés dans l'expertise

Route	N	pk	Fondation	Super-stru	Infra-stru	Année	Long	Larg	N TRA	Oued
CW	224	6+887	Sup	MAC	MAC	0	12	4,65	2	O. MIMOUN
CW	224	4+534	Sup	BA	BA	1972	19,3	6	1	O. ALI BENACER
CW	4	16+700	Sup	BA	BA	0	12	2,5	1	O. LARBAA
CW	4	14+700	Sup	MAC	MAC	0	26,8	2,8	1	O. Tala –Oulili
CW	128	20+760	Sup	MAC	MAC	1891	21,9	4,5	1	O. ASSIF TADJDIOUTH
CW	128	11+300	Sup	MET	MAC	1891	42,4	3	2	O. BOGHNI
CW	128	16+700	Sup	MET	MAC	1920	42,4	3,25	2	O. BOGHNI
CW	128	18+600	Sup	MET	MAC	0	61,5	3	2	O. BOGHNI
CW	128	04+000	PF	MET	BA	1978	35	8,07	1	O. FALLI
CW	174	27+800	SUP	BA	BA	1985	26,2	9	1	O. DISS
CW	100	0+900	PF	BA	BA	1987	30,85	10	1	O. AGUEMOUN
CW	100	00+000	Sup	met	BA	0	10	6,8	1	O. CHILE
CW	147	4+600	SUP	BA	Ba	2001	40	4,75	1	O. TASSADOURT
CW	174A	00+050	PF	MIX	BA	0	328,1	8,2	10	O. SEBOU –TAMDA
CW	174	14+500	SUP	BA	BA	0	34	8,2	1	O. TAMDA-TAABIT
CW	174	10+400	SUP	BA	BA	0	20	8,2	1	O. TASSIFT
CW	251	08+250	SUP	BA	BA	0	18	3,5	3	O. ASSIF IGHZER MAKHOLOUF
CW	9	11+200	PF	BA	BA	1987	30,85	10	1	O. LEKHMIS
CW	8	06+500	RADIER	MIX	BA	1970	33,5	5	1	O. DJARAF
CW	11	28+000	PIEU	BA+BP	BA	2006	33,4	10	1	O. ASSIF LARBAA O. ASSIF AMANE MEZIANE
CW	147	33+200	SUP	MAC	MAC	0	12,1	6,2	1	O. BOUACHIR
CW	250	00+100	SUP	BA	BA	1984	17,8	7	1	O. BOUACHIR
CW	174	24+770	SUP	BA	BA	1985	26	11,9	1	O. KAHRA
CW	6	03+000	SUP	BA	BA	0	22	6	1	O. TALWAG
CW	251	8+000	SUP	BA	BA	1996	85,3	9,67	3	O. ASSIF OUSSELDOUN
RN	25	39+545	SUP	BA	BA	1958	10,8	5,3	3	O. MEGDOUL
RN	12	38+140	SUP	BA	BA	1973	45,93	10	2	Voie ferrée
RN	12	44+100	SUP	BA	BA	1986	45	18,5	2	Route
RN	12	44+300	PF	MIX	BA	1980	92	11,5	1	Route
RN	30	13+800	SUP	MET	MAC	0	47,2	10	1	O. BOGHNI
RN	71	65+800	P	BA	BA	2006	20	10	1	O. IKERBEK
RN	25	38+300	P	BA	BA	0	51	6,5	1	O. TLETA
RN	12	36+250	P	BA	BA	1983	150,5	17,5	4	O. BOUGDOURA
RN	12	36+720	SUP	MIX	MAC	1925	174,15	6	5	O. BOUGDOURA
RN	12	39+300	PF	BA	BA	0	62,5	16,5	3	O. SEBT
RN	12	55+300	PF	MIX	BA	1984	120,5	13,5	3	O. AISSI
RN	73	25+700	SUP	BA	BA	1987	26	9	1	O. DISS
RN	12	56+900	SUP	BA	BA	0	12,5	16,94	1	O. FACE ENIEM
RN	72	29+900	SUP	BP	BA	1996	37,1	7,93	1	O. STITA
RN	24	181+700	SUP	MIX	BA	1987	24	7	1	O. IBEHRIZENE
RN	24	178+400	P	BP	BA	1983	363	7	14	O. SIDI KHALIFA

RN	24	160+00	SUP	MET	MIX	1964	38,4	5	1	O. MLATA
RN	24	157+300	SUP	MET	MIX	1964	10,8	6	1	O. IKERBECK
RN	12	75+100	PF	BA	BA	1986	193	17	5	O. SEBAOU
RN	30	34+200	SUP	MAC	MAC	0	17,6	8,2	1	O. RAVIN
RN	12	64+300	SUP	BA	MET	1963	15	6	1	O. BOUHIMOUR
RN	12	66+250	PF	MET	BA	1979	82	10,5	1	O. RABTA
RN	30	37+400	SUP	BA	BA	0	36	6	2	O. ASSIF DJERRAH
RN	24	145+750	SUP	BP	BA	1987	33	10,2	1	O. ZEGZOU
RN	24	126+000	SUP	BP	BA	1976	58	9	2	O. HATTOCHE

 CTC-Est www.ctc-est.com	 المؤسسة الوطنية لرقابة البناء التقنية في الشرق Organisme National de Contrôle Technique de la Construction de l'Est	 Centre Technique de la Construction
<p>Direction : D.P.T.P Projet : Travaux Publics MILA Adresse : cité des frères CHERTIOUA chalet N°07 ELA Tél. / Fax : 031.57.42.16</p>		
<h3><u>CONCLUSIONS</u></h3>		
<p>Les différentes visites effectuées par nos équipes par des examens et des inspections approfondis de l'ouvrage nous ont permis de constater ce qui suit</p>		
<p>* le dimensionnement adopté pour l'ouvrage est largement suffisant mis a part le gabarit ,</p>		
<p>* les différents essais non destructifs effectués sur l'ensemble des éléments de l'ouvrage ont révélé une qualité de béton plus que satisfaisante,</p>		
<p>* L'état apparent des appuis d'extrémité (culées) est satisfaisant et aucun tassement des ces derniers n'a été enregistré ,</p>		
<p>* Aucun problème d'ordre structurel n'a été détecté au niveau des appuis d'extrémités (culées) ,</p>		
<p>* Toutefois les désordres et les anomalies (précédemment cités) décelés ont causé la détérioration totale de l'appui central (pile) ainsi que l'ensemble du tablier (poutres et dalle).</p>		
<p>* Ainsi on peut déduire que notre ouvrage au vue des dommages subis ne peut être récupéré et qu'il y a lieu de prévoir la construction d'un nouveau pont qui devrait tenir dans son design et son dimensionnement de son environnement tant topographique , hydraulique et géologique .</p>		
<p>Le C.T.C EST reste à la disposition de l'Administration pour de plus amples informations ou d'une assistance lors du lancement du nouveau pont</p>		
<p>C.T.C EST / DIRECTION DES PROJETS TRAVAUX PUBLICS SIEGE CITE BOUDRAA SALAH/ B. P du 20 Août 1955 Constantine – Algérie- Tél. : 00.213. 31.83.35.04 / Fax : 00.213. 31.83.35.02/ Email : dpem@ctc-est.com</p>		

Annexe E : Les différentes dégradations de l'ouvrage





Annexe F: La Fiche D'identification

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

Fiche d'identification de l'ouvrage

Le:...../...../.....

Fiche N°:

Direction des Travaux Publics :

Subdivision de :

Identification du pont : Wilaya...../Route...../Pk..... (Ex: 04RN101560)

(Ex: 04RN101560 Wilaya Oum El Bouaghi route National 10 PK 1+560)

Situation du pont : X=..... Y=..... Z=.....

Année de construction : Âge de la structure:.....an

Cout de réalisation:MDA

Entreprise de réalisation :

Qualification de l'entreprise :

BET étude :

BET suivi :

Laboratoire de contrôle :

Caractéristiques de situation :

Nature de la route : RN PK: CW PK:

Autre (.....PK:.....)

Condition du Trafic : Dense Moyen Faible

Limitation du tonnage (80% de la surcharge théorique) en T :

Type du Franchissement : cours d'eau Route Voie ferrée

Autre :.....

Nom de l'obstacle franchi :

Emplacement de l'ouvrage : zone urbaine zone montagneuse zone côtière Autres (.....)

Conditions Environnementales : Très Agressive Agressivité Moyenne Agressivité faible

Utilisation des sels de devglçage : Oui Non

Possibilité de déviation : Oui Non

Commentaires :.....

.....

Caractéristiques de conception :

Type d'Ouvrage

Pont voûté: Mac Béton

Pont à poutres Pont en caisson Pont haubané Portique

Pont dalle: pleine voussoir nervurée

Pont en arc: Tablier inférieur supérieur intermédiaire

Autre (.....)

Nombre des Travée :

Longueurs des travées (m) : T1= T2= T3= T4=

Appuis sur le cours D'eau : Oui Nb:..... Non

Les appuis d'ouvrages : Culées Nb:..... Piles Nb:..... Piles culées Nb:.....

Matériaux de construction des Appuis :

Tous en Béton Tous en Mac Mixte Autre ()

Types de fondation : Superficielle Semi-profond Profond

Superstructures :

Type :

Matériaux : BA BP MAC MET MIX (.....)

Autre (.....)

caractéristiques Géométriques :

Longueur (m)	Largeur (m)	Surface (m ²)	Largeur des Trottoirs(m)	Gabarit (m)

Dossier techniques de L'Ouvrages

Les déferents plans de réalisation Existants tous L'ensemble présente un manque

.....

Note de calcul Comporte les Informations Nécessaires

Oui Non

Si Non :.....

.....

.....

L'étude Géotechnique : Oui Non

Commentaire:

Les différentes pièces de composition ou de contrôle des matériaux :

Oui Non

Commentaire:

.....

Ya t'il des modifications au cours de réalisation :

Oui Non

Si oui : les plans de récolement Existants Oui Non

Le type de réception :

courante Autre (les épreuves de chargement, utilisation des outils de topographies.....)

Informations Supplémentaires :

.....

.....

.....

.....

.....

Annexe G : La fiche D'inspection

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE Des TRAVAUX PUBLICS

Fiche D'inspection

Le:...../...../.....

Date de la dernière visite Le:...../...../.....

Fiche N°:

Direction des travaux publics :

Subdivision de :

Staff d'inspection

Nom	Prénom	Qualification
.....
.....
.....
.....
.....

Type d'Inspection:

- Inspection visuelle
- Une visite périodique (.....mois)
- Une visite d'inventaire
- Inspection des dommages
- Inspection détaillée particulières

But de l'Inspection :

.....
.....
.....
.....
.....

Les conditions climatique jour de l'inspection :

La vitesse du vent :

La température :

L'humidité :

Autre :

Matérielles utiliser

Matériel	But d'utilisation
.....
.....

Sulfate attaque	.....			
Carbonatation	.....			
Perte de masse	.....			
Trace des venues d'eau	.....			
Décoloration	.....			
Suintement	.....			
Epaufures	.....			
Fleche	.....			
Affouillement	.....			
Tassement	.....			
Glissement	.....			
efflorescence	.....			
écaillage de la surface	.....			
soulèvement	.....			
Piqûres	.....			
éclatement localisé	.....			

NB: l'emplacement des désordres peut se définir soit par la description de l'emplacement soit par situéele, sur le schéma décrivant l'ouvrage

Facteurs aggravant ou permutant la création des désordres au futur

	Emplacement	degré de gravité		
		Léger	Moyen	Grave
Régime de cours d'eau			
Approfondissement de lit d'oued			
Rétrécissement du débouche hydraulique			
Massif d'enrochement			
Présences des végétations nuisibles			

Les Causes probables

N°	Causes probables
1	La nature du trafic, et particulièrement au non-respect des charges ou des espacements imposés par la signalisation adaptée à la structure
2	L'intensité du trafic lourd,
3	L'état d'entretien des matériels
4	Une durée d'utilisation prolongée à l'excès
5	L'insuffisance de la structure
6	Un mauvais tracé des accès
7	Des chocs des véhicules

8	L'inadaptation ou la détérioration des appuis
9	Différents phénomènes naturels violents (crue, séisme.....)
10	Absence des joints de chaussée et trottoirs
11	Absence ou dysfonctionnement des systèmes d'évacuations des eaux
12	Défauts de conception
13	Affouillement
14	Caractéristiques des matériaux utilisés
15	Défauts des études
16	Défauts de réalisation
17	Excès d'utilisation des sels de déverglaçage
18	Le manque d'entretien
19	Type de sol
20	Absence ou dysfonctionnement des équipements de protection des fondations
21	L'évolution naturelle des cours d'eau
22	défauts de réparation
23	Les interventions humaines (prélèvements des matériaux, Obturation partielle de la section d'écoulement de l'ouvrage par le jet des déchets.....)
24	Chocs mécaniques

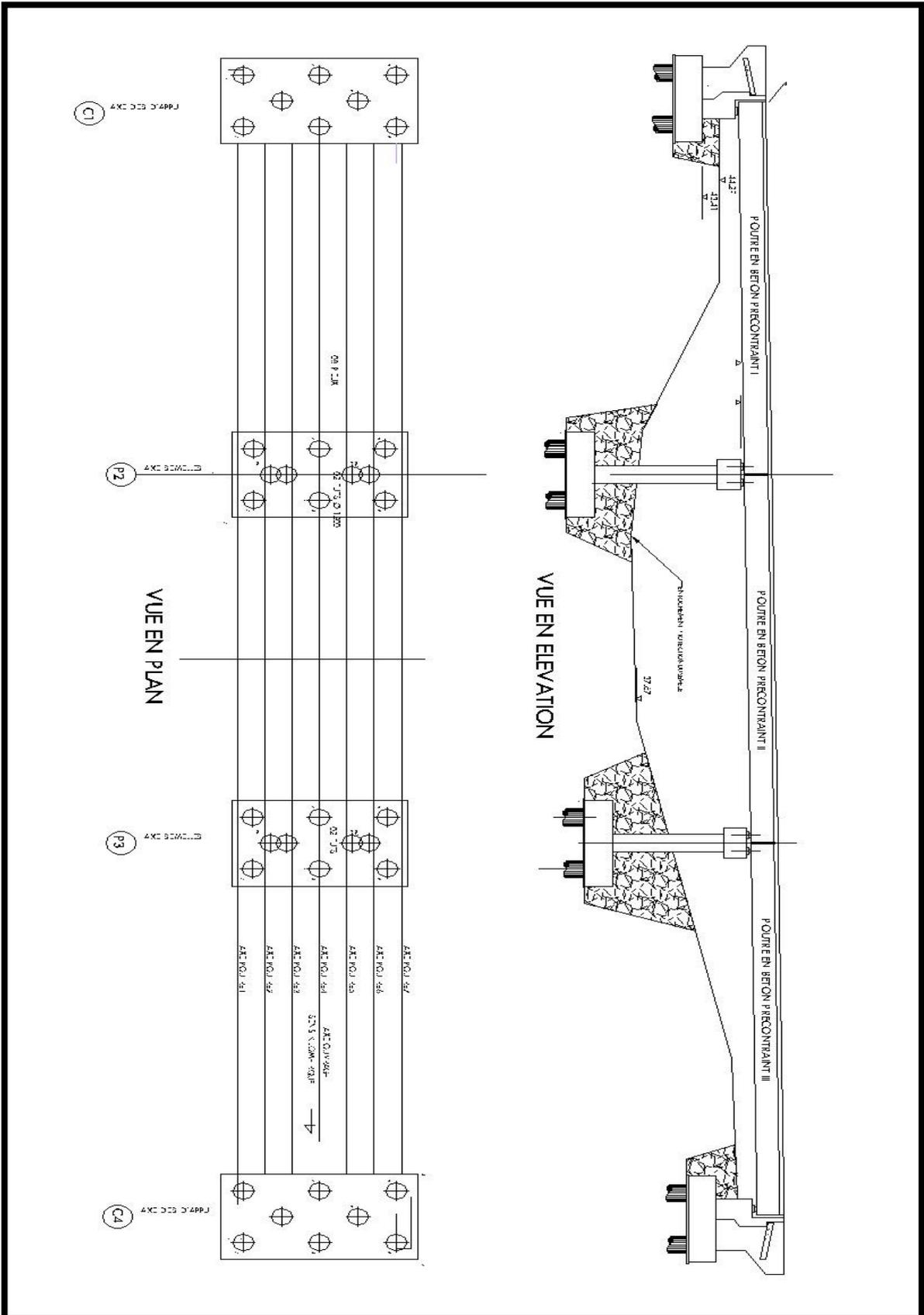
La fonctionnalité des équipements

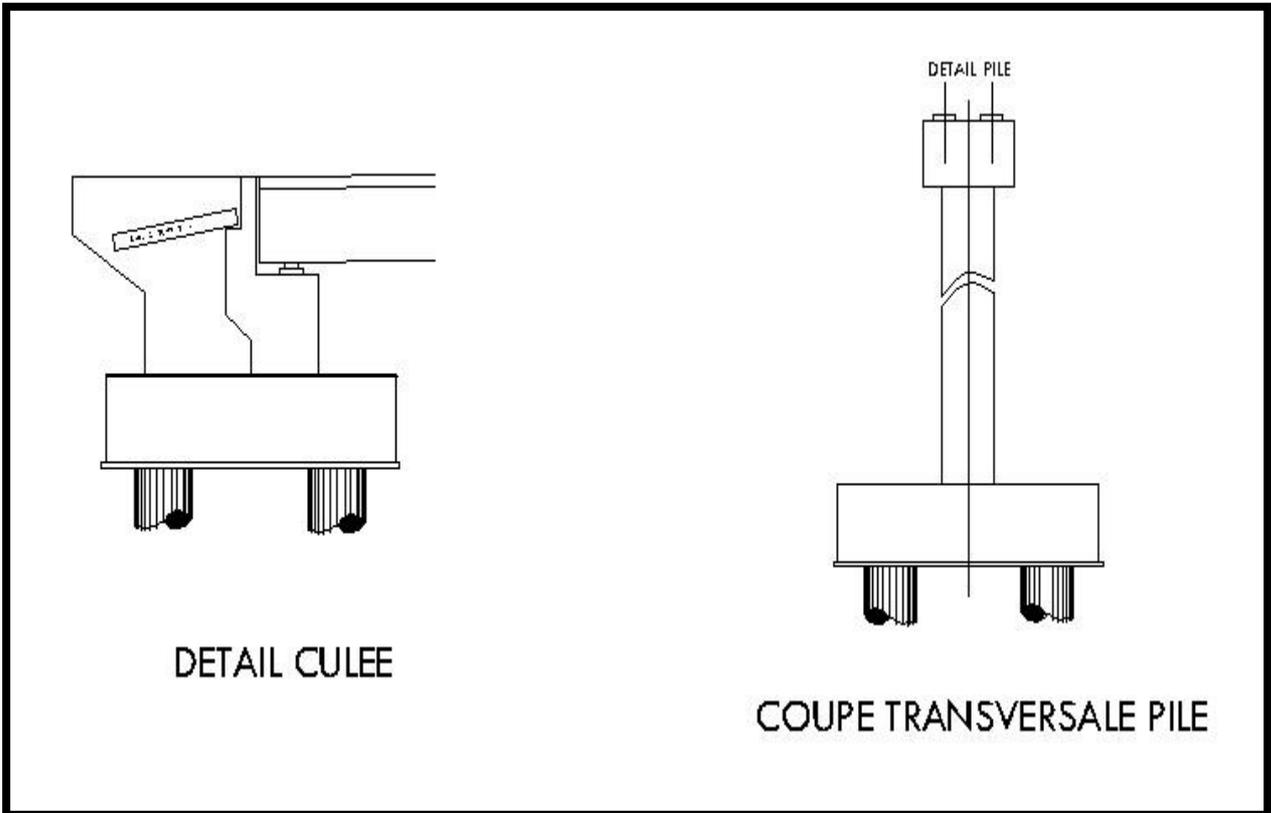
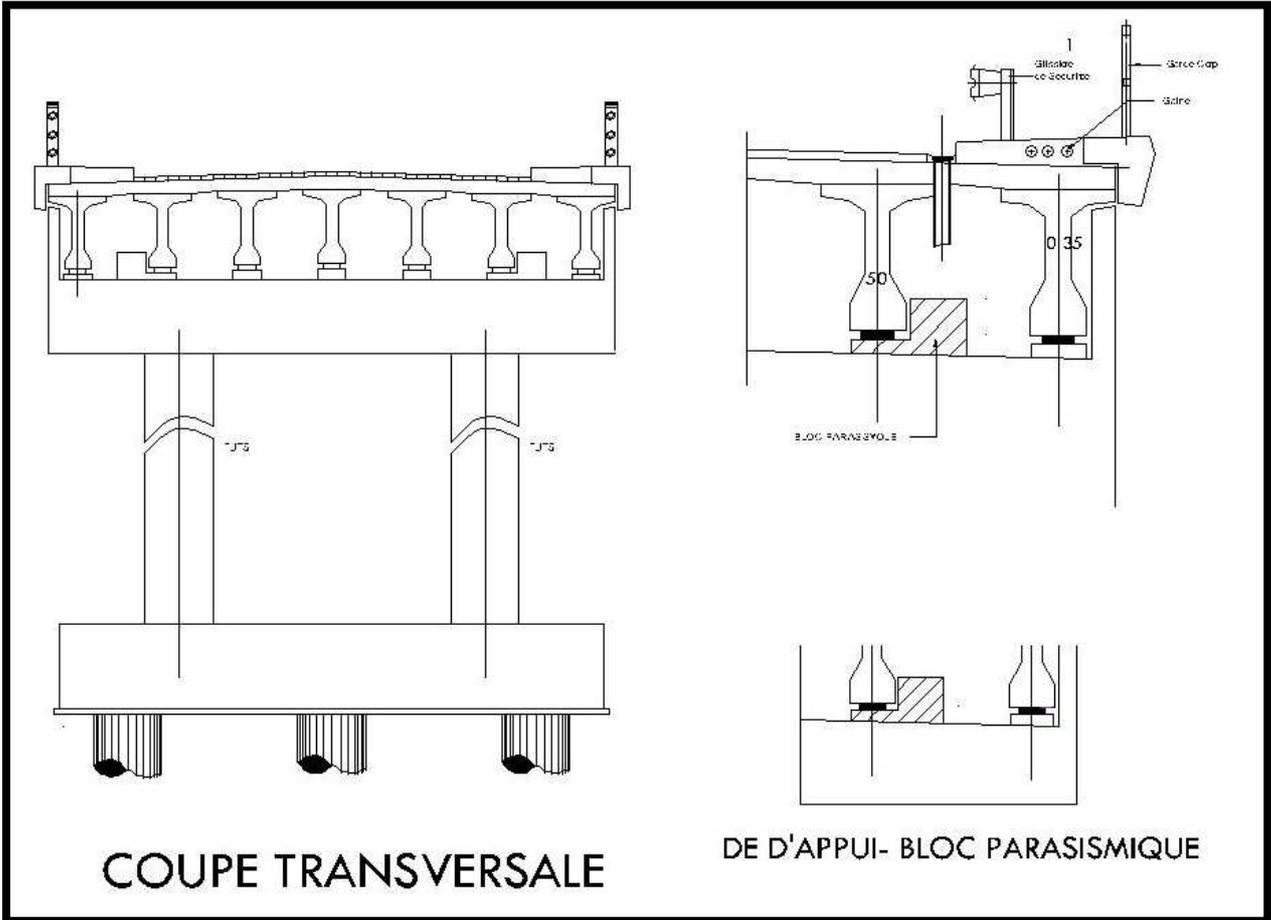
	Bon	Moyen	Mauvaise	Désordres observés
Massif d'enrochement				
Appareil d'appui				
Système d'évacuations des eaux de ruissellements				
Gargouille				
Désordre du revêtement de chaussée				
Garde-corps				
Glissière de sécurité				
Gabionnage				
Battage d'eau				

Documents en joint

- 1) Schéma de l'ouvrage
- 2) Photos des Déficiences observées

Exemples des schémas utilisés au cours des inspections :





Liste des photos present au cours de l'inspection :

Photo :.....	Photo :.....	Photo :.....
Photo :.....	Photo :.....	Photo :.....
Photo :.....	Photo :.....	Photo :.....
Photo :.....	Photo :.....	Photo :.....
Photo :.....	Photo :.....	Photo :.....

Etat des anciennes réparations :

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Conclusions :

le niveau de réussite de cette inspection "But atteint"

- Oui Non

l'état de l'ouvrage Bon Moyen Mauvais

Une expertise approfondie doit être réalisé le plus vite possible

Travaux d'entretien courant à réaliser (à effectuer en régie) :

- Type des Travaux 1 :.....
2 :.....
3 :.....
4 :.....
5 :.....

Travaux d'entretien courant à réaliser (avec des moyens extérieurs)

- Type des Travaux 1 :.....
2 :.....
3 :.....
4 :.....
5 :.....
6 :.....

Autres commentaires

.....
.....
.....
.....
.....
.....