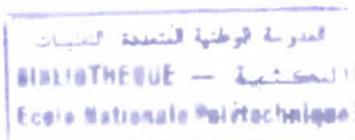


3/04

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Génie civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état
En Génie Civil

Thème :

**ETUDE DES PONTS SOUMIS
A DES DEGRADATIONS**

Proposé et dirigé par :

Mr. M.ZOUKH

Présenté par :

BENAZZOUZ Ibrahim Khalil

Promotion JUIN 2004

ENP, 10 avenue Hacène Badi, El Harrach, Alger

DEDICACES

Je dédie ce travail:

*A ma mère et mon père dont leurs sacrifices et amour
n'ont jamais cessé et à qui je dois mon éducation et mon
niveau d'instruction,*

A mon grand père et ma grand mère

A mes sœurs,

A mes frères,

A toute ma famille,

A tous mes amis.

Ce modeste travail a été réalisé sous la direction de Mr ZOUKH Mohamed chargé de cours à l'Ecole Nationale Polytechnique « ENP ».

Je tiens à lui témoigner tout particulièrement ma reconnaissance pour ses précieux conseils qu'il m'a donnés tout au long de ce travail ainsi que pour sa grande disponibilité.

Je tiens à remercier tous les ingénieurs du LCTP, SAPTA et CTTP, et en particulier Mr AIT CHALLAL Kamel ingénieur au LCTP ; Mr MISALKA et Mr Ali ingénieurs à la SAPTA et Melle LAZOUANI Fatiha ingénieur au CTTP.

Je tiens à remercier également l'ensemble du personnel des bibliothèques de l'ENP, CTTP, ENTP, LCTP, pour leur coopération.

Que toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail, trouve ici toute ma reconnaissance.

J'exprime aussi ma plus grande reconnaissance à tous les enseignants de l'ENP et particulièrement les enseignants du département du génie civil.

Que Mesdames et Messieurs les membres de Jury trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

كلمات مفتاحية الضرر، التصليح، التقوية، كشف خبرة، جسور الخرسانة المسلحة، جسور الفولاذية.

Abstract

The bridges can be affected by disorders of very variable gravity and whose causes are multiple, these disorders become more in more dangerous, then what makes us reflect on the current state of these bridges (our park of structures).

In this context, this work is a modest contribution to the determination of these disorders and their probable causes with a study of expertise to evaluate the state of the works presenting these disorders.

Keys words: reinforcement, expertise, repair, bridge of the masonry, bridge of the concrete, bridge of the metallic.

Résumé

Les ponts peuvent être affectés par des désordres de gravité très variable et dont les causes sont multiples, ces désordres devenus plus en plus dangereux, alors ce qui nous fait réfléchir sur l'état actuel de ces ponts (notre parc d'ouvrages d'art).

Dans ce contexte, ce travail est une modeste contribution d'une étude statistique des ouvrages d'art du parc national et à la détermination de désordres et leurs causes probables avec une étude d'expertise pour évaluer l'état des ouvrages présentant ces désordres et enfin des recommandations.

Mots clés: désordre, défaut, expertise, renforcement, réparation, pont maçonnerie, béton armée, béton précontraint, et métallique.

TABLEAU DE MATIERES

	Page
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I: Généralités sur les ouvrages d'art	
I.1. Définition d'un pont.....	3
I.2. Classifications des ponts.....	3
I.2.1. Suivant le matériau principal dont ils sont constitués.....	3
I.2.2. Suivant de leur fonctionnement mécanique.....	3
I.2.3. Suivant la nature de la voie portée.....	5
I.2.4. Suivant leur disposition en plan.....	5
I.2.5. Suivant leur forme des poutres.....	5
I.2.6. Suivant la structure transversale.....	5
I.2.7. Suivant les méthodes de construction.....	5
I.2.8. Suivant leurs durées de service.....	6
I.3. Différentes parties d'un pont.....	6
I.3.1. La structure du pont.....	6
I.3.1.1. Le tablier.....	6
I.3.1.2. Les appuis.....	8
I.3.1.3. Les fondations.....	8
I.3.2. Les équipements des ponts.....	9
I.3.2.1. Appareils d'appui.....	9
I.3.2.2. joints de chaussée.....	9
I.3.2.3. Etanchéité et couche de roulement.....	9
I.3.2.4. Dispositifs de retenue.....	10
I.3.2.5. Evacuation des eaux.....	11
I.3.2.6. Corniche.....	11
I.3.2.7. Autres équipements.....	12
I.4. La conception des ouvrages d'arts.....	12
I.4.1. Le choix du type d'ouvrage.....	13
I.4.2. Avantages et inconvénients.....	13

I.4.2.1. Pont en béton armé.....	13
I.4.2.2. Pont en béton précontraint.....	14
I.4.2.3. Pont métallique.....	14

Chapitre II: Etude statistique du parc d'ouvrages d'art

II.1. Introduction.....	16
II.2. Suivant la nature du trafic.....	17
II.3. Suivant l'état des ouvrages d'art.....	18
II.4. Suivant l'âge du parc des ouvrages d'art.....	19
II.5. Suivant le mode de construction de la superstructure.....	20
II.6. Suivant le mode de construction de l'infrastructure.....	21
II.7. Suivant le type de fondation.....	22
II.8. Suivant la distribution des ouvrages dans chaque wilaya.....	23
II.9. Etude Statistique de la wilaya d'Alger.....	23

Chapitre III: les facteurs de désordres dans les ponts

III.1. Les actions sollicitant les ponts.....	26
III.1.1. Les actions permanentes.....	26
III.1.2. Les effets du trafic routier.....	26
III.1.2.1. Charges civiles routières.....	27
III.1.2.2. Les charges à caractère particulier.....	28
III.1.2.3. Les charges de fatigue.....	28
III.1.3. Les actions climatiques.....	28
III.1.3.1. La température.....	28
III.1.3.2. L'action du vent.....	29
III.1.4. Les actions accidentelles.....	29
III.1.4.1. Action mécanique de l'eau.....	29
III.1.4.2. Actions dues aux séismes.....	30
III.1.5. Actions accidentelles d'origine fonctionnelle.....	31
III.1.5.1. Chocs des véhicules sur les dispositifs de retenue.....	31
III.1.5.2. Chocs des véhicules sur les piles de ponts.....	32

III.1.5.3. Chocs sur les tabliers.....	32
III.1.5.4. Chocs des bateaux sur des piles de pont.....	32
III.2. La dégradation des matériaux.....	33
III.2.1. Les altérations du béton.....	33
III.2.1.1. Dégradations d'origine physique ou mécanique.....	33
III.2.1.2. Dégradations d'origine physico-chimique.....	34
III.2.1.3. Dégradations d'origine chimique.....	34
III.2.2. La corrosion de l'acier.....	36
III.2.2.1. La corrosion atmosphérique.....	36
III.2.2.2. Corrosion des armatures dans les structures en béton armé et béton précontraint.....	36

Chapitre IV: Causes de dégradations dans les ponts

IV.1. Causes tenant à la conception.....	37
IV.2. Causes tenant au projet d'exécution.....	37
IV.3. Causes tenant aux conditions d'exécution.....	38
IV.4. les désordres et leurs causes affectant les différentes parties de pont.....	39
IV.4.1. Causes et la nature des désordres affectant les fondations.....	39
IV.4.2. Causes et la nature des désordres affectant les appuis.....	40
IV.4.3. Causes et la nature des désordres affectant les équipements.....	42
IV.4.3.1. Les dispositifs de retenue.....	42
IV.4.3.2. Les trottoirs et les bordures.....	42
IV.4.3.3. Couche de roulement.....	42
IV.4.3.4. Corniches.....	43
IV.4.3.5. Les systèmes d'évacuation des eaux.....	43
IV.4.3.6. La chape d'étanchéité.....	43
IV.4.4. Les joints de chaussée.....	44
IV.4.4.1. Anomalie de l'ouverture du joint.....	44
IV.4.4.2. Fissuration du tapis.....	44
IV.4.4.3. Mauvaise étanchéité.....	45
IV.4.5. Les appareils d'appui.....	45

IV.5. Désordres spécifiques et les causes probables des différents types de ponts.....	46
IV.5.1. Ponts en maçonnerie et viaducs.....	46
IV.5.2. Ponts en béton armé.....	48
IV.5.3. Ponts en béton précontraint.....	51
IV.5.4. Ponts métalliques.....	54

Chapitre V: Etude d'expertise

V.1. Introduction.....	56
V.1.1. Définition.....	56
V.1.2. But des expertises.....	56
V.1.3. Types d'expertises.....	57
V.1.3.1. Expertises techniques.....	57
V.1.3.2. Expertises techniques à caractère juridique.....	57
V.1.3.3. Expertises d'un ouvrage à la demande des compagnies d'assurances.....	57
V.2. Les étapes d'élaboration d'une expertise.....	57
V.2.1. Visite préliminaire.....	57
V.2.2. Visite détaillée.....	58
V.2.3. Rapport final de l'expertise.....	59
V.3. Procédures.....	59
V.3.1. Eléments communs à tous les types de pont.....	60
V.3.1.1. Fondations.....	60
V.3.1.2. Infrastructures.....	60
V.3.1.3. Superstructures.....	61
V.3.1.4. Les équipements.....	61
V.3.2. Ponts en maçonnerie.....	62
V.3.3. Ponts en béton armé.....	63
V.3.4. Ponts en béton précontraint.....	64
V.3.5. Ponts métalliques.....	65

Chapitre VI: Méthodes de renforcement ou de réparation d'un pont

VI.1. Introduction.....	66
VI.2. Techniques de réparation des ponts en maçonnerie.....	66
1) Rejointoiement des maçonneries.....	66
2) Injection.....	67
3) Chemisage armé et ancré.....	67
4) L'adjonction d'armature.....	67
VI.3. Techniques de réparation des ponts en béton.....	68
VI.3.1. Pour les ponts en béton armé.....	68
VI.3.2. Pour les ponts en béton précontraint.....	68
VI.3.3. Description des principales méthodes de réparation ou de renforcement des ponts en béton.....	69
VI.3.3.1. Traitements de surface.....	69
VI.3.3.1.1. Ragréages.....	69
VI.3.3.1.2. Injection des fissures.....	70
VI.3.3.2. Protection du béton et des armatures.....	72
VI.3.3.2.1. Techniques de protection du béton.....	72
VI.3.3.2.2. Protection cathodique des armatures.....	73
VI.3.3.3. Ajout de forces ou de déformations.....	73
VI.3.3.3.1. Généralités.....	73
VI.3.3.3.2. Renforcement des ouvrages en flexion.....	74
VI.3.3.3.3. Renforcement des ouvrages vis-à-vis de l'effort tranchant.....	74
VI.3.3.3.4. Exemples de traitement d'autres types de défauts.....	75
VI.3.3.3.5. Protection de la précontrainte additionnelle.....	75
VI.3.3.4. Ajout de matière.....	76
VI.3.3.4.1. Béton projeté.....	76
VI.3.3.4.2. Renforcement par collage de tissus composites.....	80
VI.3.3.4.3. Renforcement des structures à l'aide de plats métalliques collés.....	83
VI.3.3.4.4. Coulage ou injection de béton ou de mortier.....	84
VI.3.3.4.5. Ajout d'armatures.....	84

VI.4. Techniques de réparation des ponts métallique.....	84
--	----

Chapitre VII:Les Recommandations

VII. 1. La structure du pont.....	85
VII. 2.Les équipements.....	86
VII. 3.Quelques spécificités.....	88
VII. 4.Les conditions d'utilisation des coffrages.....	89

Chapitre VIII:Conclusion

Références Bibliographiques	92
Lexiques Des Termes Techniques	93

LISTE DES TABLEAUX

II.1 : la répartition des ponts sur RN et CW.....	17
II.2 : la répartition des ponts suivant leur état.....	18
II.3 : l'âge des ouvrages d'art.....	19
II.4 : Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de la superstructure	20
II.5 : Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de l'infrastructure.....	21
II.6 : Distribution des ouvrages suivant le type de fondation.....	22
II.7 : Récapitulatif des ouvrages d'art existant dans chaque wilaya, répartis sur les chemins de wilayas (CW) et sur les routes nationales (RN)	24
II.8 : Récapitulatif des ouvrages d'art existant dans la wilaya d'Alger.....	25
IV.1- Défauts affectant les ponts en maçonnerie et leurs causes probables.....	47
IV.2- Différents types de fissures affectant les ponts en maçonnerie et leurs causes probables.....	48
IV.3- Défauts affectant les ponts en béton armé et leurs causes probables.....	49
IV.4- Différents types de fissures affectant les ponts en béton armé et leurs causes probables.....	51
IV.5- Défauts affectant les ponts en béton précontraint et leurs causes probables....	52
IV.6- Défauts affectant les ponts en métalliques et leurs causes probables.....	54

LISTE DES FIGURES

I.1- Pont en maçonnerie.....	4
I.2- Pont en béton armé (Pont blanc d'EL-HARRACH)	4
I.3- Pont métallique (Bejaia)	4
I.4- Les différentes parties d'un pont.....	7
II.1- La répartition des ponts sur RN et CW.....	17
II.2- La répartition des ponts suivant leur état.....	18
II.3- L'âge des ouvrages d'art.....	19
II.4- Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de la superstructure.....	20
II.5-Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de l'infrastructure.....	21
II.6- Distribution des ouvrages suivant le type de fondation.....	22
III.1- Affouillement du pont (oued Dj dai à Biskra)	30
III.2- Déplacement latéral des trois travées.....	31
III.3- Choc de poids lourd sur une pile de pont.....	32
III.4- Choc de véhicule hors gabarit sur un tablier de pont-dalle.....	32
III.5- Choc de bateau sur une pile en maçonnerie.....	33
IV.1- Affouillement de fondations.....	40
IV.2- Rupture des piles par effort tranchant dû au séisme.....	41
IV.3- Les désordres d'un joint de chaussée.....	45
IV.4- Les désordres d'un appareil d'appui.....	46
IV.5- Affaissement d'un appui.....	48
IV.6- Rupture d'une voûte de pont en maçonnerie par écartement des appuis.....	48
IV.7- Nids de cailloux dus à une insuffisance de vibration.....	50
IV.8- Eclatement de béton et la corrosion des armatures.....	50
IV.9 - gonflement de béton et corrosion des armatures.....	50
IV.10- Corrosion importante des armatures de précontrainte: fils rompus.....	53
IV.11- Rupture des câbles précontraints de la poutre de rive.....	53
IV.12- Corrosion des rivets dans un pont métallique.....	55
VI.1- Photos montrent le renforcement par le TFC.....	82
VI.2- Renforcement d'un pont par le TFC (E.T et M.F)	82

Abréviations

BA : Béton armé

BA+MAC : Béton armé+ maçonnerie

BP : Béton précontraint

CTTP : Organisme national de contrôle technique de travaux publics

CW : Chemin de wilaya

ENP : Ecole nationale polytechnique d'Alger

ENTP : Ecole national e de travaux publics

HA : Haute adhérence

GB : Grand béton

LCPC : Laboratoire central de ponts et chaussées de paris

LCTP : Organisme national laboratoire central de travaux publics

MAC : Maçonnerie

MET : Métallique

MIX : Mixte

RN : Route nationale

SAPTA : Société algérienne des ponts et des travaux artistiques

SETRA : Service d'études techniques des routes et autoroutes

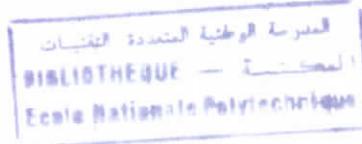
SEMI-PROF : Semi-profonde

SEMI-FIL : Semi-filante

SEM : Semelle

SUPERF : Superficiel

Introduction



Le patrimoine des ouvrages d'art représente un capital d'une valeur considérable. Il est guetté par d'innombrables imprévus, il est en butte à des sollicitations qui travaillent lentement à son érosion, à sa détérioration, à sa ruine : augmentation de l'agressivité du trafic et augmentation de son intensité (nombreux sont les ouvrages qui n'ont pas été conçus pour les caractéristiques du trafic actuel); vieillissement naturel des structures; affouillements continus ou brutaux; inondations; glissements de terrains; corrosions sous toutes ses formes, attaquant les charpentes métalliques, les armatures de précontrainte (corrosion sous tension); et l'agressivité des sels de déverglaçage.

La présence de déformations ou de fissurations inhabituelles est souvent le signe visible d'une pathologie. Mais certains ouvrages peuvent être endommagés bien avant l'apparition de signes évidents. Dans le même ordre d'idées, les équipements des ponts peuvent connaître une pathologie propre, engendrant des désordres dans la structure. Mais leur pathologie peut également être le signe de désordres plus importants affectant l'ouvrage.

La détermination des causes est l'étape la plus difficile et la plus importante. Il n'existe pas de règles ni de méthodes toutes faites pour déterminer la ou les causes de dégradations. Chaque cas pose un problème particulier et doit faire l'objet d'un diagnostic.

De ce fait, Il convient de consacrer une attention particulière à ce patrimoine quant à sa surveillance et son entretien permanent, mais aussi parce qu'il constitue une pièce maîtresse dans les infrastructures de transport.

Le choix de la technique de réparation et des matériaux à mettre en œuvre est défini en fonction de la nature et de l'importance des désordres constatés.

Dans notre étude, nous commençons par l'état actuel du parc des ouvrages d'art. Ensuite, nous diagnostiquons tous les désordres qui touchent aux différentes parties et aux différents types de ponts.

Enfin nous nous proposons de faire quelques recommandations afin d'éviter à l'avenir les désordres constatés.

Le plan de travail que nous avons adopté s'articule autour de :

Chapitre I: Généralités sur les ouvrages d'art.

Chapitre II: Etude statistique du parc d'ouvrages d'art sur le territoire nationale et à Alger.

Chapitre III: Les facteurs de désordres dans les ponts.

Chapitre IV: Causes de dégradations affectant chaque partie de pont, et les désordres spécifiques et les causes probables des différents types de ponts.

Chapitre V: Etude d'expertise avec les étapes à suivre lors de visite d'un ouvrage.

Chapitre VI: Description des principales méthodes de réparation ou de renforcement de ponts.

Chapitre VII: Recommandations.

Chapitre I :

Généralités sur les Ouvrages d'Art

Généralités sur les ouvrages d'art

1.1. Définition d'un pont

Un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc.

1.2. Classifications de ponts

L'existence de plusieurs possibilités de différencier les ponts entre eux ne permet pas d'en établir une classification unique et indiscutable. Pour définir un ouvrage d'art on distingue :

- ▶ Suivant le matériau principal dont ils sont constitués
- ▶ Suivant de leur fonctionnement mécanique
- ▶ Suivant la nature de la voie portée
- ▶ Suivant leur disposition en plan (forme en plan)
- ▶ Suivant leur forme des poutres
- ▶ Suivant la structure transversale
- ▶ Suivant les méthodes de construction
- ▶ Suivant leur durées de service

1.2.1. Suivant le matériau principal dont ils sont constitués

On parle de :

- Ponts en maçonnerie (Fig. 1.1)
- Ponts en béton armé (Fig. 1.2)
- Ponts en béton précontraint
- Ponts métalliques (fer, fonte, acier) (Fig. 1.3)

1.2.2. Suivant de leur fonctionnement mécanique [1]

Les ponts sont classés en trois grandes catégories suivant les dispositions de leurs éléments porteurs principaux.

- Les ponts à poutres
- Les ponts en arcs
- Les ponts suspendus



Figure 1.1 : Pont en maçonnerie



Figure 1.2 : Pont en béton armé (Pont blanc d'EL-HARRACH)

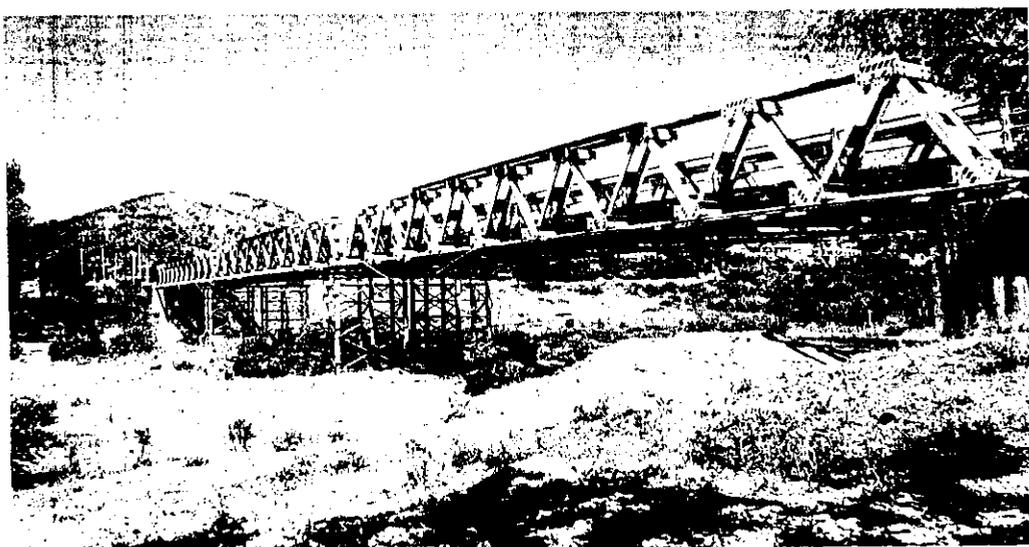


Figure 1.3 : Pont métallique (Bejaia)

1.2.3. Suivant la nature de la voie portée

- Ponts-routes : servant de passage à une route
- Ponts-rails : servant de passage à une voie ferrée
- Ponts-canaux : servant de passage à un canal
- Ponts-aqueduc: servent à faire passer des canalisation

1.2.4. Suivant leur disposition en plan

Les ponts sont classés en:

- Ponts droits
- Ponts biais
- Ponts courbes

1.2.5. Suivant leur forme des poutres

On parle de:

- Ponts à poutres caissons
- Ponts poutres à âme pleine
- Ponts poutres treillis
- Ponts poutres de hauteur constante ou variable
- Ponts poutres dalles

1.2.6. Suivant la structure transversale [2]

- Dalle rectangulaire
- Dalle à large encorbellement
- Dalle nervurée
- Ponts à poutres sous chaussée
- Pont à poutres latérales
- Pont caisson

1.2.7. Suivant les méthodes de construction

- Construction sur cintres ou échafaudages
- Construction sur cintres mobiles
 - Cintres autolanceur qui se déplacent en s'appuyant sur les piles et la partie déjà construite du tablier.
 - Construction par encorbellements successifs sur des équipages mobiles qui s'accrochent à la partie déjà construite des fléaux de l'ouvrage.

- Construction au sol et mise en place par déplacement
 - Poussage
 - Ripage
 - Rotation
- Préfabrication d'éléments
 - Poutres
 - Voussoirs

1.2.8. Suivant leurs durées de service

- Ponts provisoires
- Ponts définitifs

1.3. Différentes parties d'un pont

Dans ses grandes lignes, un pont est constitué d'une structure résistante capable de porter la voie et ses charges d'exploitation. Il possède par ailleurs des équipements spécifiques concourant à son bon fonctionnement, à la sécurité des usagers et à la durabilité de l'ouvrage, Un pont se compose des parties suivantes (figure I.4).

1.3.1. La structure du pont

1.3.1.1. Le tablier

C'est la partie de l'ouvrage supportant la chaussée au-dessus de la brèche à franchir. Dans les ponts à poutres, on distingue les ponts à poutres latérales et les ponts à poutres sous chaussée. Que ce soit dans l'un ou l'autre cas, une dalle, des entretoises et parfois des longerons sont associés aux poutres pour former le tablier.

En plan, le tablier d'un pont peut être droit, biais (suivant l'inclinaison de la ligne d'appuis par rapport à l'axe longitudinal du pont), ou courbe. On appelle angle de biais (θ) l'angle entre la ligne d'appuis et l'axe longitudinal de l'ouvrage ; ainsi, pour un pont droit, $\theta=90^\circ$. [1]

1.3.1.1.1. La dalle

La dalle ou hourdis sert d'élément de couverture, c'est elle qui reçoit la couche de roulement et les surcharges des véhicules. Outre celui de couverture, le rôle de la dalle est de reporter les charges permanentes et les surcharges sur les poutres, les longerons et les entretoises.

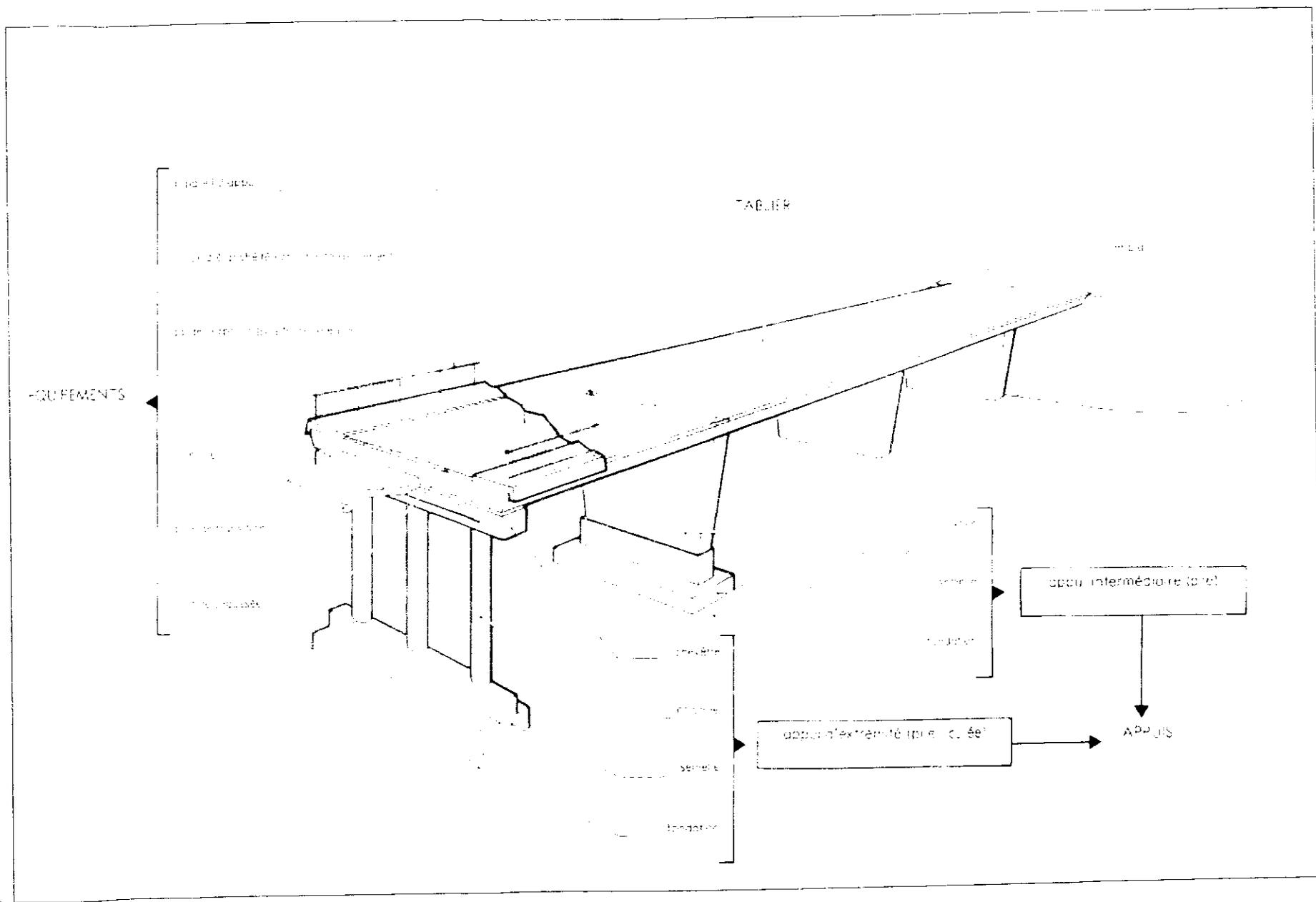


Figure I.4: Les différentes parties d'un pont



1.3.1.1.2. Entretoises

Les entretoises sont perpendiculaires aux poutres qu'elles relient entre elles. Elles ont un double rôles : celui de contreventement de l'ouvrage en s'opposant au déversement des poutres et celui de solidarisation, en répartissant les surcharges et le poids propre sur les poutres.

Les entretoises doivent être aussi raides que possible et assez nombreuses pour assurer la solidarité effective des poutres, il faut que leur nombre ne soit pas exagéré et leur poids aussi réduit que possible. Elles peuvent être pleines ou triangulées. [1]

1.3.1.1.3. Longérons

Les longérons essentiellement utilisés dans les ponts métalliques, sont disposés parallèle à l'axe longitudinale de l'ouvrage et relient entre elles les différentes entretoises.

1.3.1.1.4. Poutres principales

Les efforts dus au poids propre (de la dalle, des longérons et des entretoises) et aux surcharges, sont transmis aux poutres qui reportent sur les appuis constitués par les piles et les culées.

1.3.1.2. Les appuis

Nous venons de voir que les efforts de toute nature agissant sur l'ouvrage se trouvent reportés sur les poutres qui les transmettent aux appuis constitués par les appuis intermédiaires, appelés piles, et appuis d'extrémités, appelés culées qui, elles, à leur tour ont pour mission de les reporter sur le sol par l'intermédiaire des fondations.

1.3.1.2.1 Piles et les Culées

Les piles et les culées dépendent des deux éléments qu'elles unissent : le sol et le tablier. Elles sont donc conçues au mieux, en tenant compte de ces facteurs, ce qui se traduit par : résistance mécanique, stabilité et aspect.

Plus de leur rôle de support des extrémités des ouvrages d'art, les culées doivent souvent soutenir les terres des ouvrages d'accès et sont étudiées en conséquence.

1.3.1.3. Fondations :

Elles permettent d'assurer la liaison entre les appuis et le sol.

1.3.2. Les équipements des ponts

On désigne par « équipements » l'ensemble des dispositifs de nature, de conception et de fonctionnement très divers, dont le but est de rendre un tablier de pont apte à remplir sa fonction, notamment vis-à-vis des usagers.

1.3.2.1. Appareils d'appui [1] [3]

Sous l'effet des différences de températures, ou sous l'application des surcharges, les tabliers se déplacent par rapport aux piles et culées, il est nécessaire d'interposer entre eux des dispositifs permettant ces mouvements : ce sont les appareils d'appui. Et en plus de ça, ils sont conçus pour transmettre dans les meilleures conditions possibles des efforts principalement verticaux (poids de l'ouvrage, composante verticale des efforts dus aux charges d'exploitation), mais aussi horizontaux (dilatations, forces de freinage, d'accélération, centrifuges, etc.).

Les appareils d'appui se répartissent en trois grandes familles :

- Les appareils d'appui en acier, (pour certains grands ponts métalliques);
- Les appareils d'appui en caoutchouc fretté, constitués par un empilage de plaques d'élastomère et de feuilles d'acier (se sont les plus répandus pour les ouvrages courants et par fois pour les grands ponts);
- Les appareils d'appui spéciaux.

1.3.2.2. joints de chaussée

Les joints de chaussée (ou de dilatation) sont les dispositifs permettant d'assurer la continuité de roulement à la jonction entre tablier et culées. Lorsque les tabliers sont très longs, des joints intermédiaires sont prévus pour limiter l'amplitude des variations de longueur dues à la température ou aux effets différés dans le cas des structures en béton (retrait, fluage) et l'intensité des efforts transmis en tête des appuis.

1.3.2.3. Etanchéité et couche de roulement

La pénétration de l'eau à l'intérieur du tablier (eaux de pluie, eaux de lavage et surtout eau chargée de sels anti-verglas) entraîne des risques graves de corrosion des armatures en acier (passives et actives) et doit être évitée, quel que soit le matériau utilisé.

La chape d'étanchéité

La chape d'étanchéité a pour fonction de protéger la structure contre la pénétration de l'eau. Les systèmes les plus couramment réalisés sont les suivants :

- Les feuilles de préfabriquées (des feuilles à liants et armatures améliorés)
- Les couches d'asphalte
- Les systèmes à base de résine (des films minces)

Quel que soit le procédé employé, des précautions très strictes doivent être prises à l'exécution pour que la chape soit réellement imperméable et durable.

La couche de roulement

La couche de roulement qui vient au-dessus de la chape d'étanchéité est constituée le plus souvent d'une couche de béton bitumineux de 4 à 5 cm d'épaisseur. Sur les itinéraires à forte circulation, il faut prévoir la possibilité d'ajouter une deuxième couche portant l'épaisseur totale à une dizaine de centimètres.

1.3.2.4. Dispositifs de retenue

Les dispositifs de retenue comprennent les garde-corps, les glissières et les barrières.

Les garde-corps

Les garde-corps ont essentiellement pour objet la protection des piétons. Sauf dans des cas particuliers où ils sont spécialement renforcés, ils ne sont pas conçus pour résister au choc accidentel d'un véhicule léger.

Les glissières

Les glissières sont des éléments destinés à retenir des véhicules légers dont les conducteurs ont perdu le contrôle. Il existe des glissières souples et des glissières rigides.

Les Glissières souples comportent des éléments linéaires portés par des poteaux : ces éléments linéaires reprennent l'impact d'un véhicule en perdition en mobilisant leur aptitude, ainsi que celle des poteaux qui les soutiennent, à subir une déformation plastique. Les glissières rigides, généralement en béton, sont basses et retiennent les véhicules par leurs roues : compte tenu des préjudices qu'elles peuvent porter à l'intégrité mécanique des véhicules, elles sont réservées au milieu urbain, là où la vitesse est limitée.

Les barrières

Les barrières sont destinées à empêcher des véhicules lourds de tomber du pont, de et à essayer de les remettre, si possible, dans la bonne direction. On distingue les barrières légères, les barrières normales, dimensionnées pour retenir un car de 12t lancé à 70 Km/h sous une incidence de 20°, et les barrières le lourdes, qui doivent retenir un camion de 38t également lancé à 70 Km/h sous une incidence de 20°.

1.3.2.5. Evacuation des eaux [3]

Le système d'évacuation des eaux pluviales sur un ouvrage est un ensemble complexe destiné à recueillir, conduire et évacuer les eaux.

Ce système est nécessaire pour éviter la stagnation des eaux et les conduire en des endroits où ces eaux ne risquent pas de créer des désordres sur des parties de la structure ni une gêne à la circulation.

Le bon fonctionnement du système d'évacuation des eaux, est en particulier des barbacanes (non- obturation ou non- colmatage), peut éviter des désordres sérieux dans la structure.

L'objectif d'un système d'évacuation des eaux, qui doit être prévu au niveau de la conception de l'ouvrage, est d'assurer :

- une évacuation rapide des eaux pluviales pour éviter l'inondation de la chaussée.
- une protection de la structure vis-à-vis des infiltrations d'eau plus ou moins chargées d'agents nocifs.

Les eaux sont d'abord reçues sur un ou deux bords de la chaussée, grâce à la pente réaliser sur la chaussée et les trottoirs, puis évacuer par des gargouilles disposer tous les 20m environ de part et d'autre de la chaussée ou de la plate-forme ferroviaire.

1.3.2.6. Corniche [4] [3]

Les corniches sont des éléments qui équipent les bords latéraux d'un pont (sont généralement en béton armé, préfabriqué ou coulé en place) et dans le rôle principal est d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage :

- en jouant sur des effets de forme, de proportion, de couleur
- en éloignant l'eau des parements verticaux
- en rattrapant les irrégularités de la structure

Les corniches sont utilisées pour remplir les fonctions suivantes :

- support de la fixation du garde-corps

- butée du trottoir ou de la limite de la chaussée
- évacuation des eaux dans certaines configurations

Depuis quelques années, le rôle de la corniche s'est orienté très nettement vers l'élément de décoration de l'ouvrage.

1.3.2.7. Autres équipements : En citera tout particulièrement

Les dalles de transition

Elles ont pour but d'éviter la dénivellation qui risque de se produire entre la chaussée courante et le pont en cas de tassement de remblai, ce sont des dalles en béton armé, reposant par une de leurs extrémités sur l'ouvrage et par l'autre sur le remblai d'accès.

Les grilles centrales

Font également partie des équipements les grilles centrales qui recouvrent l'intervalle entre deux ouvrages parallèles et séparés.

L'éclairage

L'éclairage des ponts, lorsqu'il est nécessaire, peut être réalisé de différentes manières. Le système qui paraît le meilleur est l'éclairage par candélabres placés de préférence à l'extérieur ou dans le plan du garde-corps et les munis de crosses pour mettre le foyer lumineux au-dessus de la chaussée.

Enfin, les ponts doivent souvent assurer le passage de canalisations de toutes sortes, dans l'emplacement doit être prévu dans le projet et dont le poids doit être pris en compte dans les calculs. [3]

1.4. La conception des ouvrages d'arts

La conception est la phase la plus difficile dans l'élaboration d'un projet. Pour les ponts, c'est elle qui permet de fixer la nature et le type d'ouvrages les plus économiques, capables de satisfaire le mieux possible à toutes les conditions imposées. Il faut pour cela connaître l'ensemble des contraintes à respecter et les types d'ouvrages qui peuvent être envisagés. Cette opération fait appel aux connaissances de l'ingénieur et son expérience, et ne peut être automatisée à cause de la variété et la complexité des problèmes à résoudre et l'évolution incessante des types d'ouvrages.

L'ensemble des données qui constituent le programme ou le cahier des charges d'un projet. Elles sont classées en six catégories:

- Données administratives;
- Données fonctionnelles ;
- Données naturelles;
- Données d'environnement;
- Données architecturales et paysagères;
- Données de gestion et de maintenance.

Ces données peuvent se traduire par des contraintes plus ou moins fortes pouvant affecter le projet à des niveaux d'importance différents, classées ci-dessous dans un ordre de priorité:

- Le choix de la structure;
- La méthode de construction;
- La conception de certains détails;
- Le traitement architectural;
- Les hypothèses de calcul.

1.4.1. Le choix du type d'ouvrage

L'objectif est de déterminer le type d'ouvrage le plus économique capable de satisfaire le mieux possible à toutes les conditions et les données imposées.

Il faut pour cela connaître à la fois l'ensemble des contraintes à respecter et l'ensemble des types d'ouvrages qui peuvent être envisagés.

La comparaison de ces deux ensembles permet de retenir la solution, ou les solutions, qui apparaissent à première vue comme les meilleures, et qui feront ensuite l'objet d'études plus approfondies. C'est une opération de synthèse dans laquelle interviennent de nombreux paramètres et qui fini essentiellement appel au jugement et à l'expérience de l'ingénieur. [2]

1.4.2. Avantages et inconvénients

1.4.2.1. Ponts en béton armé

Avantages

- Economique au point de vue de consommations de matériaux;
- Exécution facile;
- Ne nécessite pas une main d'œuvre hautement qualifiée;
- Durabilité;
- Bonne résistance aux chocs;
- Nécessite un entretien réduit par rapport au pont métallique ou mixte.

Inconvénient

- Multiplicité de joint de chaussée (travées);
- Gamme de portée limitée (<30m);
- Les structures continues sont très rigides et sensibles aux tassements différentiels;
- Échafaudage important;
- Complication des coffrages le rend relativement coûteux en main d'œuvre.

1.4.2.2. Ponts en béton précontraint**Avantages**

- Une meilleure utilisation de la matière puisqu'il n'y a pas de béton inutile, le béton situé autour des armatures de précontraint est toujours comprimé, on limite ainsi la corrosion des aciers;
- Les armatures à haute limite élastique utilisées en béton précontraint sont moins chères à force égale que les aciers du béton armé;
- L'effort précontraint agissant en sens inverse des charges extérieures limite les déformés;
- La possibilité d'assembler des éléments préfabriqués sans échafaudage.
- La possibilité de franchir de plus grandes portées qu'avec des ouvrages en béton armé;

Inconvénients

- La nécessité de fabriquer du béton plus résistant principalement avant 28 jours
- La nécessité de disposer d'un personnel qualifié pour la vérification de la pose des gaines et câbles et pour la mise en tension des câbles;
- L'obligation d'attendre que la mise en tension soit faite pour pouvoir décinturer ou décoffrer.

1.4.2.3. Ponts métallique**Avantages**

- Sa légèreté par rapport au béton;
- Il ne demande pas un coffrage;
- La portée importante;
- La facilité de mise en œuvre.

Inconvénient

- Nécessite un entretien périodique;

Chapitre II :

Etude Statistique du Parc

d'Ouvrages d'Art

Etude statistique du parc d'ouvrages d'art

II.1. Introduction :

Le réseau routier est un facteur essentiel de la vie économique et sociale d'un pays. Les ponts constituent les points sensibles du réseau. Leur défaillance provoque toujours une perturbation importante du trafic.

Cette étude est basée sur le rapport donné par la direction de l'exploitation et de l'entretien routier –Ministère des Travaux Publics- en juillet 2002, le parc d'ouvrages d'art existant dans le territoire national est de 3756 ouvrages.

Ces ouvrages se répartissent comme suit :

2583 ouvrages sur le réseau des routes nationales (RN).

1173 ouvrages sur le réseau des chemins de wilaya (CW).

Malgré ce patrimoine important, il y a une très mauvaise gestion de ce dernier, en vue de leur absence de suivi, absence d'entretien...etc.

Les ouvrages d'art sont classés de diverses manières, et dans ce qui suit on va étudier la répartition du parc des ouvrages d'art sur le territoire national et leurs pourcentages suivant:

- ▶ Suivant la nature du trafic;
- ▶ Suivant leur état;
- ▶ Suivant leur âge;
- ▶ Suivant leurs matériaux principaux dont ils sont constitués (la superstructure et l'infrastructure);
- ▶ Suivant le type de fondation employé;
- ▶ Suivant la distribution des ouvrages dans chaque wilaya
- ▶ Suivant leur existence dans la wilaya d'Alger.

II.2. Suivant la nature du trafic

La répartition de notre parc des ouvrages d'art est divisée en deux types de voies portées à savoir:

- Routes nationales
- Chemins wilaya

Le tableau II.1, nous donne le nombre des ouvrages d'art sur ses voies, et leurs pourcentages.

Tableau II.1 - la répartition des ponts sur RN et CW. [5]

Type de trafic	Nombres	pourcentage
Route nationale	2583	68,77%
Chemin de wilaya	1173	31,23%

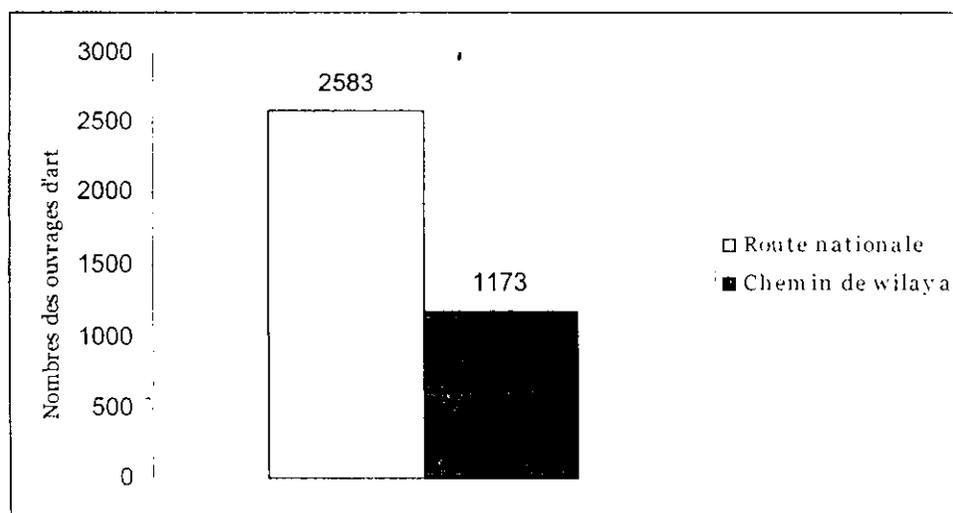


Figure II.1 - la répartition des ponts sur RN et CW.

On remarque que, les ponts sur les chemins de wilaya sont la moitié des ponts sur la route nationale (figure II.1), c à d les deux tiers (2/3) des ouvrages d'art sont dans la route nationale RN, il convient de ce fait de lui consacrer un attention particulière quant à sa surveillance et son entretien permanent (le trafic important, les vibrations, les chocs).

II.3. Suivant l'état des ouvrages d'art

L'état du parc des ouvrages d'art^{art} partagé en trois états:

- Bon état
- Moyen état
- Mauvais état

Le tableau II.2, nous donne le nombre des ouvrages d'art sur chaque état, et leurs pourcentages.

Tableau II.2 - la répartition des ponts suivant leur état. [5]

Etat des ouvrages	Nombre	pourcentage
Bon	2602	69,27%
Moyen	832	22,15%
Mauvais	322	8,57%

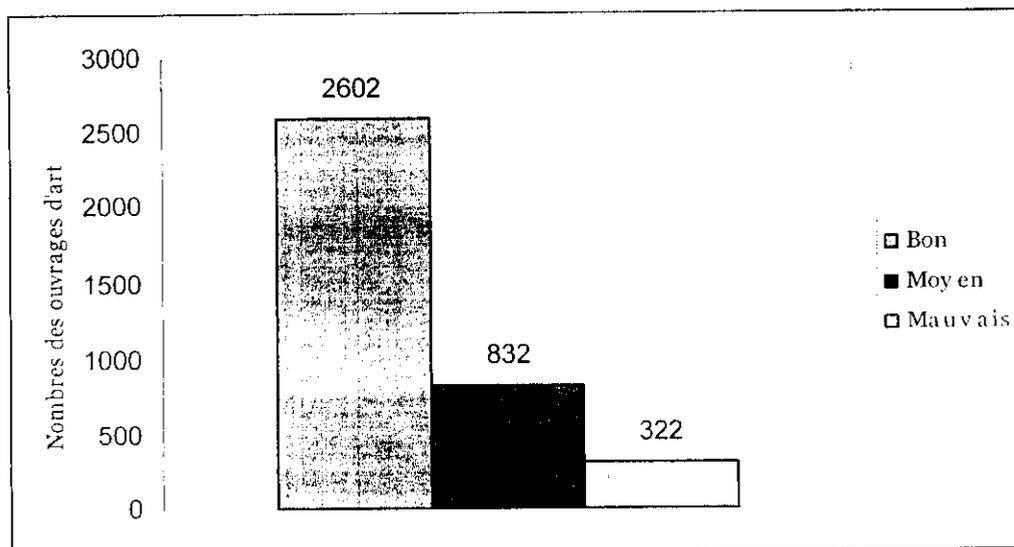


Figure II.2 - la répartition des ponts suivant leur état.

On remarque que soixante-dix pourcent c à d plus de deux tiers (2/3) sont en bon état (figure II.2), par contre la majorité des ouvrages d'art en mauvais état sont construits avant l'année 1962, et aussi l'absence d'entretien de cette catégorie.

II.4. Suivant l'âge du parc des ouvrages d'art

L'âge de ce parc des ouvrages d'art remonte en effet au XIX^{ème} siècle. Le tableau II.3 nous donne le nombre des ouvrages d'art avant 1850 jusqu'à 2002, en passant par l'indépendance et les années de développement, et leurs pourcentages.

Tableau II.3 - l'âge des ouvrages d'art. [5]

Année de construction	Nombres	pourcentage
Avant 1850	3	0.08%
Entre 1850 et 1900	224	5.96%
Entre 1900 et 1962	693	18.45%
Entre 1962 et 1970	124	3.30%
Entre 1970 et 1980	357	9.50%
Entre 1980 et 1990	899	23.93%
Entre 1990 et 2002	356	9.48%
Inconnue	1100	29.28%

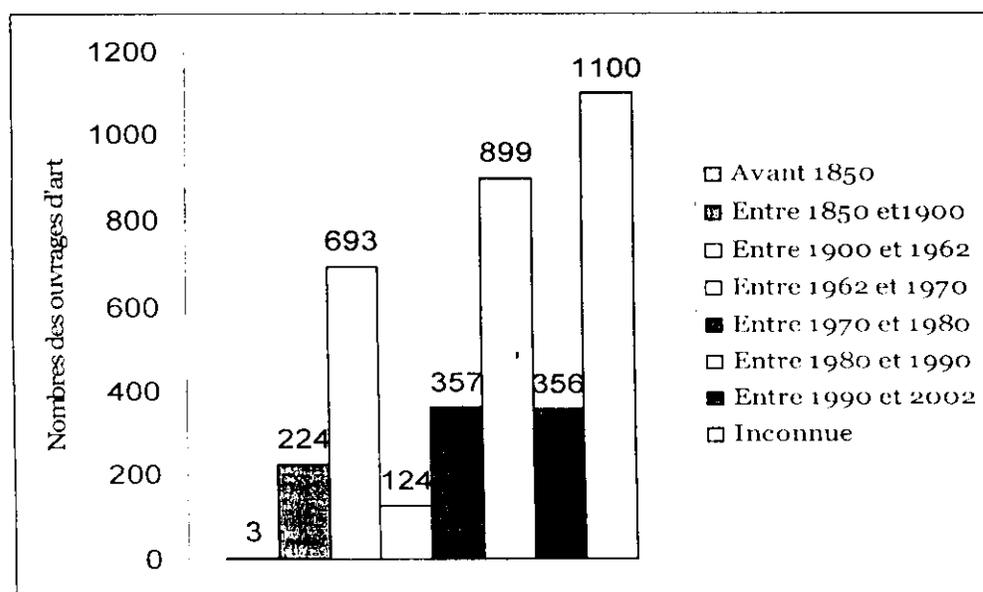


Figure II.3 - l'âge des ouvrages d'art.

On remarque clairement que près de un tiers (1/3) des ouvrages d'art de date de inconnue, aussi que un quart (1/4) de ces derniers à été construit entre 1980 et 1990, et de même portion (1/4) dépassent les quarante ans (figure II.3).

II.5. Suivant le mode de construction de la superstructure

Le parc des ouvrages d'art est un mélange de tous les types de structures suivant le matériau principal dont ils sont constitués par exemple la maçonnerie, le béton armé, le béton précontraint et le métal.

Le tableau II.4 nous donne le nombre des ouvrages d'art suivant le mode de construction de la superstructure, et leurs pourcentages.

Tableau II.4 - Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de la superstructure. [5]

Mode de construction de la superstructure	nombre	pourcentage
BA	2074	55.22%
MAÇ	753	20.05%
BP	311	8.28%
MIX	311	8.28%
MET	141	3.75%
BA+ MAÇ	81	2.16%
INCONNUE	85	2.26%

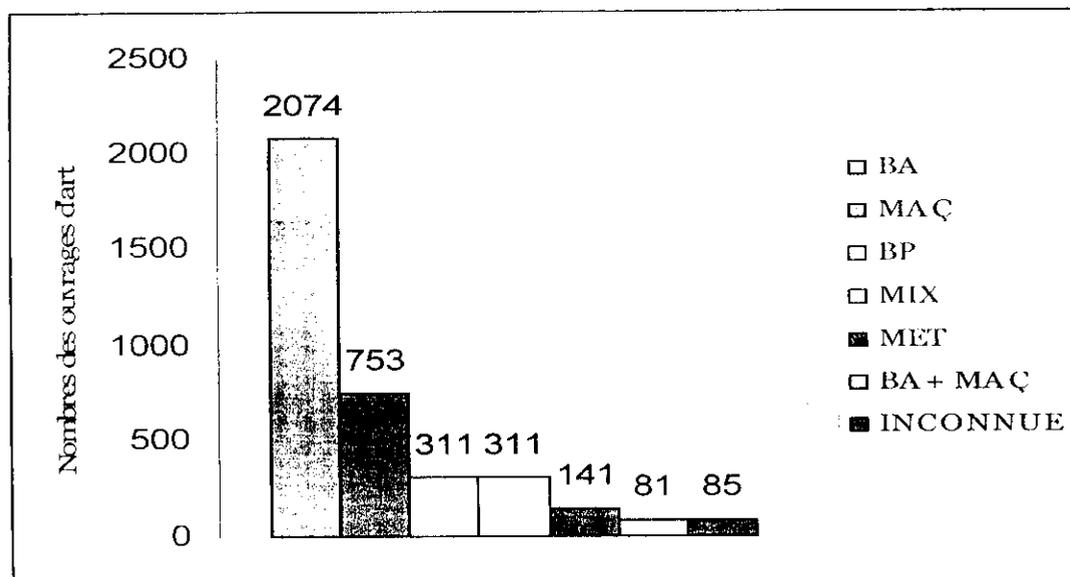


Figure II.4 - Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de la superstructure.

On remarque que plus de la moitié (1/2) des ouvrages sont construits en béton armé (figure II.4) alors que le cinquième (1/5) de ces ouvrages sont des anciens ouvrages en maçonnerie. Ce qui nous fait réfléchir sur leur état actuel et leur rendement.

II.6. Suivant le mode de construction de l'infrastructure

Les matériaux utilisés dans la construction de l'infrastructure sont de différentes natures, Comme la maçonnerie, le béton armé, le béton précontraint et le métal. Le tableau II.5 nous donne le nombre des ouvrages d'art suivant le mode de construction de l'infrastructure et leurs pourcentages.

Tableau II.5 - Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de l'infrastructure.

Mode de construction de la l'infrastructure	nombres	pourcentage
BA	1964	52.29%
MAÇ	1324	35.25%
BP	178	4.74%
MIX	73	1.94%
BA+ MAÇ	33	0.87%
MET	22	0.58%
DIVERS	26	0.69%
INCONNUE	136	3.62%

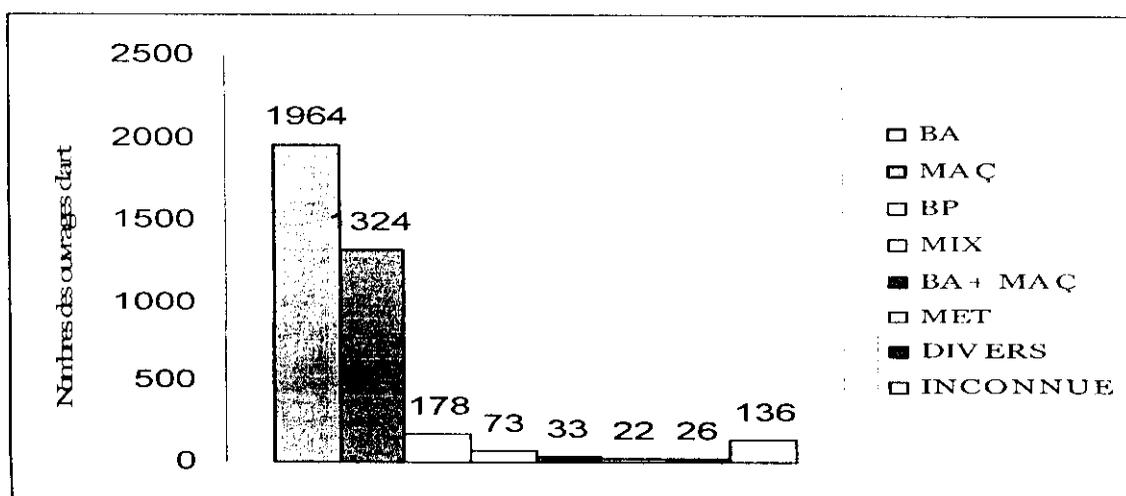


Figure II.5 - Distribution des ouvrages suivant le mode de construction de l'infrastructure.

On remarque que le parc des ouvrages d'art suivant le mode de construction de l'infrastructure est construit essentiellement du béton armé plus de la moitié (1/2) de l'ensemble du parc et la maçonnerie plus de un tiers (1/3) du parc (figure II.5).

II.7. Suivant le type de fondation

Le choix du type de fondation dépend de plusieurs paramètres qu'il faut prendre en considération la nature du sol, l'importance de l'ouvrage,...etc.

Le tableau II.6 nous donne le nombre des ouvrages d'art suivant le type de fondation et leurs pourcentages.

Tableau II.6 - Distribution des ouvrages suivant le type de fondation. [5]

Mode de construction de la fondation	Nombres	pourcentage
SUPERF	2296	61,13%
PIEUX	427	11,37%
PUITS	392	10,44%
RADIER	59	1,57%
DIVERS: SEMI-PROF, SEM-FIL, SEM GB, ENROCH, SPECIAL, ISOLE	44	1,17%
INCONNUE	538	14,32%

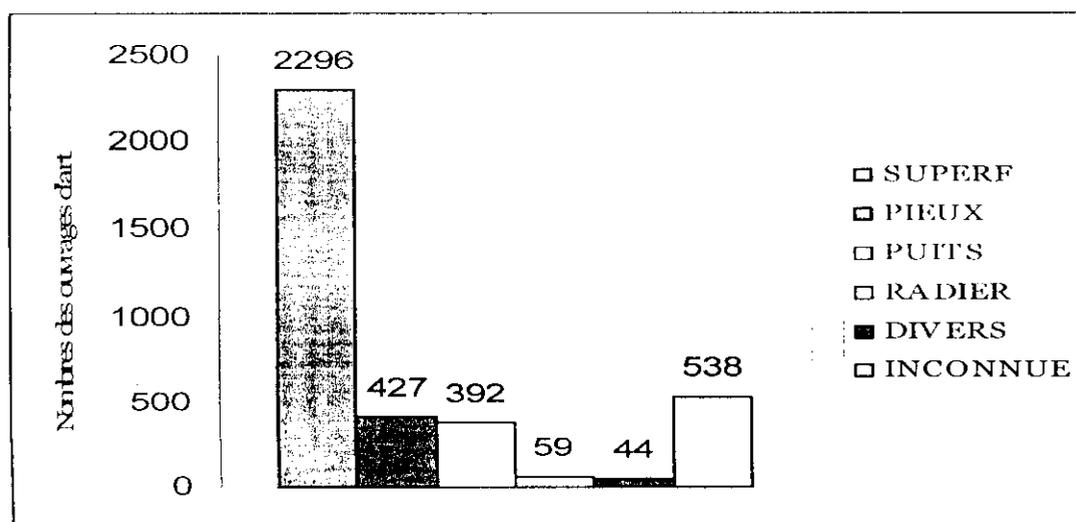


Figure II.6 - Distribution des ouvrages suivant le type de fondation.

On remarque d'après (figure II.6) que le type de fondation dominant est la fondation superficielle avec un rapport de (3/5) de l'ensemble du parc, alors que le cinquième (1/5) des fondations sont des puits et pieux.

II.8. Suivant la distribution des ouvrages dans chaque wilaya

Soit le tableau II.7, Récapitulatif des ouvrages d'art existant dans chaque wilaya, répartis sur les chemins de wilayas (CW) et sur les routes nationales (RN).

Après analyse des résultats du tableau, on remarque les points importants sont:

- 50% des ouvrages d'art existent dans wilayas de sahel;
- Plus de 70% des ouvrages d'art trouvent dans les zones sismiques II et III, suivant le RPA99 version 2003, ce qui nous oblige à prendre des mesures de sécurité;
- 264 ouvrages d'art à Alger, est le nombre le plus grand dans toutes les wilayas.

II.9. Etude Statistique du wilaya d'Alger

C'est la capitale de l'Algérie, avec un pourcentage de 7% des ouvrages d'art c'est le plus grand pourcentage en Algérie à causes de la région montagneuse et plus de ça le surpeuplement qui implique une grande circulation des véhicules, ce qui mettre Alger en première position de l'existence des ouvrages d'art par chaque wilaya avec un nombre de 264 ouvrages d'art. Soit le tableau II.8 ci-dessous qui nous donne quelques statistiques de la wilaya d'Alger.

Après analyse des résultats du tableau, on remarque les points importants sont:

- Le plus part des ouvrages en bon état;
- 64% de mode de construction de La structure est en béton précontraint;
- 69.32% de mode de construction de la fondation est inconnue;
- 58.33% de ces ouvrages de date de construction est inconnue;
- 48.11% de ces ouvrages de longueur inférieur à 50 m;
- 60.60% des entreprises réalisatrices sont inconnues.

Tableau II.7 - Récapitulatif des ouvrages d'art existant dans chaque wilaya, répartis sur les chemins de wilayas (CW) et sur les routes nationales (RN). [5]

CODE	WILAYA	TOTAL O.A sur CW en 2002	TOTAL O.A sur RN en 2002	TOTAL O.A en '002
1	ADRAR	2	1	3
2	CHLEF	35	72	107
3	LAGHOUAT	5	21	26
4	O.E.BOUAGHI	26	44	70
5	BATNA	67	107	174
6	BEJAIA	23	88	111
7	BISKRA	27	93	120
8	BECHAR	1	21	22
9	BLIDA	17	67	84
10	BOUIRA	40	79	119
11	TAMANRASSE	0	1	1
12	TEBESSA	10	44	54
13	TLEMCEN	31	76	107
14	TIARET	22	20	42
15	TIZI OUZOU	51	115	166
16	ALGER	37	227	264
17	DJELEA	62	64	126
18	JIJEL	12	49	61
19	SETIF	84	137	221
20	SAIDA	20	26	46
21	SKIKDA	32	62	94
22	SIDI BEL ABBES	30	45	75
23	ANNABA	21	48	69
24	GUELMA	49	44	93
25	CONSTANTINE	33	104	137
26	MEDEA	37	51	88
27	MOSTAGANEM	36	23	59
28	M'SILA	60	178	238
29	MASCARA	44	76	120
30	OUARGLA	1	0	1
31	ORAN	12	31	43
32	EL BAYADH	1	29	30
33	ILLIZI	0	0	0
34	B.B.ARRERIDJ	15	50	65
35	BOUMERDES	25	92	117
36	EL TAREF	15	33	48
37	TINDOUF	0	1	1
38	TISSEMSILT	23	25	48
39	EL OUED	2	4	6
40	KHENCHLA	7	15	22
41	SOUK AURAS	5	41	46
42	TIPAZA	10	74	84
43	MILA	30	32	62
44	AIN DEFLA	48	80	128
45	NAAMA	2	11	13
46	AIN TIMOUCHENT	26	39	65
47	GHARDAIA	6	5	11
48	RELIZANE	31	38	69
	TOTAL	1173	2583	

Tableau II.8 - Récapitulatif des ouvrages d'art existant dans la wilaya d'Alger (256 O.A)

Etat	Nombres	Nature de trafic	Nombres	Structure	Nombres	Fondation	Nombres	Longueur	Nombres	Age	Nombres	Entreprise	Nombres
Bon	262	RN	227	BP	169	PIEUX	55	L ≤ 50	127	Avant 1960	11	GICO	27
mauvaise	2	CW	37	BA	45	SUPERF	24	50 < L ≤ 100	65	1900 < A ≤ 1962	0	SEROA	16
				MIX	12	PUITS	2	100 < L ≤ 200	32	1962 < A ≤ 1970	0	SONATRO	16
				MAC	5	Inconnue	183	L > 200	15	1970 < A ≤ 1980	11	ENGOA	12
				MET	4			Inconnue	25	1980 < A ≤ 1990	88	SAPTA	11
				MAC+BA	2					1990 < A ≤ 2002	0	MONDELLI	9
				Inconnue	7					Inconnue	154	ENEROA	8
												AUTRES	5
												Inconnue	160

Chapitre III :
Les Facteurs de Désordres
dans les Ponts



Les facteurs de désordres dans les ponts

III.1. Les actions sollicitant les ponts

III.1.1. Les actions permanentes

Les actions permanentes (comme le poids propre) sont rarement des causes directes d'apparition de désordres, bien que l'examen de notes de calculs révèle parfois de graves erreurs (masse volumique sous-estimée, erreurs de mètres, oublis du poids de certaines pièces, sous-estimation du poids des équipements).

D'autre part, pendant la vie de l'ouvrage, le poids de certains équipements peut évoluer de façon significative, comme par exemple, les rechargements de la couche de roulement, dans les ponts routiers, ou des rechargements de la couche de ballast, dans le cas des ponts ferroviaires.

III.1.2. Les effets du trafic routier [6], [7]

Le trafic sur les ponts est l'une des causes majeures de leur vieillissement, tant par ses effets extrêmes que par ses effets de répétition susceptibles d'entraîner des phénomènes de fatigue.

Le trafic routier sollicite dynamiquement les ponts. L'amplification de ses effets dynamique, liée à de nombreux paramètres, peut être élevée, notamment au voisinage des discontinuités de la surface de roulement, par exemple près des joints de dilatation aux extrémités du pont.

Au fil des années, depuis 1869, avec le développement des systèmes de transport routier, les véhicules sont devenus de plus en plus lourds et le trafic de plus en plus dense. Ce qui a nécessité une évolution régulière de la réglementation pour assurer aux constructions le niveau de sécurité approprié.

Les charges d'exploitations routières selon la réglementation nationale applicables sur les ponts routes peuvent comprendre : [8]

Les charges sans caractère particulier ou charges civiles

Charges de chaussée

Charges de trottoirs

Les charges à caractère particulier

Charges militaires

Charges exceptionnelles

Les charges de fatigue

III.1.2.1. Charges civiles routières

III.1.2.1.Charges civiles routières

a) Les charges de chaussée

Les charges de chaussée sont modélisées par deux systèmes A et B, distincts et indépendants.

- Le système A se compose d'une charge uniformément répartie variable avec la longueur chargée, pour des ponts comportant des portées unitaires ≤ 200 m.

$A = a_1 \times a_2 \times A(L)$, sur la chaussée, dégressivité transversale, modulation selon les classes de ponts.

$$A(L) = 2.3 + \frac{360}{L + 12} \text{ KN / m}^2$$

L : longueur chargée

a_1 : coefficient en fonction de classe de pont et nombre de voies chargées.

a_2 : est le rapport de $\frac{l_v}{l_0}$, l_v : largeur de voie, l_0 : en fonction de classe de pont.

- Le système B comprend trois sous-systèmes de camions, dits :

Bc : 2camions de 30t par voie

Bt : 2essieux-tandems de 32t

Br : roue de 10t

Les charges des systèmes A et B sont susceptibles de développer des réactions de freinage, efforts s'exerçant à la surface de la chaussée dans l'un ou l'autre sens de circulation, les charges B sont à pondérer par un coefficient de majoration dynamique [9].

b) Les charges de trottoirs

Les charges définies sur les trottoirs non franchissables comprennent :

La charge générale utilisée pour la justification des éléments porteurs (poutres maîtresses qui supportent à la fois une chaussée et un ou des trottoirs) est une charge de 150 Kg/m², cumulable avec les charges générales de chaussée.

Les charges locales, utilisées pour la justification des éléments du tablier comprennent :

-Soit une charge de 450Kg/m² (cumulable avec les systèmes civiles et militaires).

-Soit une roue isolée de 6 tonnes (uniquement pour vérification d'Etat Limite Ultime).

c) Les charges des passerelles pour piétons: on applique une densité de charge uniforme dont l'intensité varie avec la longueur chargée.

III.1.2.2. Les charges à caractère particulier

a) *Les charges militaires*: Elles comprennent les classes M_{120} , M_{80} de 110 et 72 tonnes, et comportent chacune deux systèmes de charges, un char et un groupe de deux essieux. Ces charges sont à appliquer uniquement sur les itinéraires faisant l'objet d'un classement d'itinéraire militaire [8].

b) *Les charges exceptionnelles*: le type de convois lourds exceptionnelle à prendre en compte, est celui-ci étant exclusif de toute autre charge, Les classes des charges exceptionnelles sont: [9]

- Classe D pour les convois dont le poids total en charge de la remorque ou semi-remorque est inférieur ou égale à 250 t
- Classe E pour les convois dont le poids total en charge de la remorque ou semi-remorque est inférieur ou égale à 400 t

III.1.2.3. Les charges de fatigue

L'endommagement par fatigue ou simplement fatigue est la modification des propriétés des matériaux résultant de l'application de cycles d'efforts, et aussi à la dégradation progressive des structures soumises à ces sollicitations répétées, que se traduit par l'apparition et le développement de fissures endommageant ces structures et pouvant les amener à la ruine par rupture brutale [10].

Cette dernière peut se produire pour des valeurs de la contrainte maximale bien inférieures à la charge de rupture et même à la limite élastique du matériau, C'est la rupture par fatigue.

III.1.3. Les actions climatiques

III.1.3.1. La température

Les effets de la température sont cumulables avec les charges d'exploitation. Les effets de la température dans les ponts se manifestent de nombreuses façons :

L'action de la température sur les matériaux :

Lorsque la température est élevée, c'est l'une des causes de la fissuration du béton en cours de durcissement du fait de son séchage naturel. Par contre, un bétonnage par temps froids, engendre un risque de gel de l'eau du béton qui le détériore par expansion. Ce risque de gel doit être distingué des dégradations que peuvent produire, sur le béton durci, les cycle de gel et dégel. [7]

Egalement l'acier est encore sensible à la température, si l'acier soumis à un effort avec une variation de température (diminution et/ou augmentation), on constate une variation continue de la limite d'élasticité, la résistance du matériau et ses

caractéristiques de ductilité. Et aussi, qu'il y a un risque de rupture fragile par flexion.

Les effets de la température sur les structures :

Les répartitions non uniformes de température dans un tablier de pont, dépendent fortement de la couleur et de l'épaisseur de son revêtement, qui sont dues à l'ensoleillement, au vent, dans le cas des ponts mixtes, aux différences entre les capacités et conductivités thermiques respectives de l'acier et du béton.

La répartition non uniforme de température dans un tablier de pont (c à d le gradient thermique) traduit une différence de température entre la fibre supérieure, plus chaude, et la fibre inférieure du tablier. Par simplification, la variation de température entre les fibres extrêmes du tablier est supposée linéaire. Ses effets sont évalués à partir du module de déformation instantané. La valeur de cette différence de température, appelée gradient, est fixée à : [8]

12° C pour les ouvrages en béton,

10° C pour les ouvrages mixtes acier béton,

aucun gradient thermique pour les ouvrages métalliques.

Sous l'effet de ce gradient thermique, la fibre la plus chaude est donc plus dilatée que la fibre la plus froide, ce qui tend à cambrer la structure. Les liaisons hyperstatiques surabondantes, en s'opposant à ces déformations, créent des efforts dans la structure.

III.1.3.2.L'action du vent

Les efforts à prendre en compte dans les calculs sont définis comme des pressions statiques équivalentes appliquées aux surfaces frappées. Cette action n'est pas à cumuler avec les charges de chaussée ou de trottoirs.

III.1.4.Les actions accidentelles

III.1.4.1.Action mécanique de l'eau

Le principal phénomène dû à l'action mécanique de l'eau sur les structures est l'affouillement (figureIII.1).

La présence des piles en rivière crée des mouvements tourbillonnaires de l'eau qui sont susceptibles de remanier le lit de la rivière à fond mobile par transport des éléments solides. Ce remaniement du lit au voisinage des piles se nomme affouillement.

On distingue l'affouillement général, intéressant la totalité du lit du cours d'eau, de l'affouillement local au voisinage des obstacles situés dans le cours d'eau.

- L'affouillement général correspond à la mise en suspension des matériaux meubles constituant le fond du lit, lors d'une crue. Ce type d'affouillement concerne l'ensemble du cours d'eau et n'est pas dû à la réalisation de l'ouvrage.
- L'affouillement local est dû à la présence d'obstacles dans le lit et se traduit par un creusement plus marqué à l'amont qu'à l'aval de l'obstacle et par la création d'un dépôt au-delà du surcreusement aval. Il apparaît donc à proximité des obstacles ~~et est~~ donc une conséquence immédiate de la présence de l'ouvrage.

Ces deux types d'affouillements se combinent entre eux et peuvent mettre en péril la stabilité de l'ouvrage par déchaussement de ses fondations. ~~Tel que la~~ profondeur totale d'affouillement est la somme de la profondeur d'affouillement général ~~et de~~ celle d'affouillement local. [8]

Rappelons que, les affouillements sont en rapport direct avec la vitesse du courant et le coefficient d'abstraction du lit de la rivière.

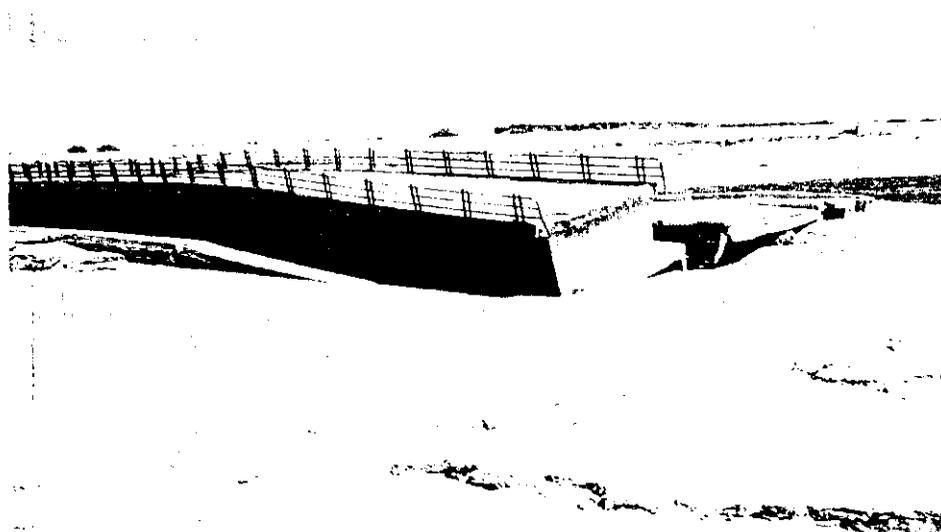


Fig III.1 - Affouillement du pont (oued Dj dai à Biskra).

III.1.4.2. Actions dues aux séismes [11]

L'observation et interprétation des dégâts causés par les séismes anciens ou récents sur les ponts ont permis d'une part de mieux comprendre la nature des sollicitations de type sismique sur ces ouvrages et d'autre part d'identifier un certain nombre de causes de fragilité classique et récurrentes liées à des défauts de conception.

Au cours d'un séisme, les efforts induits dans une structure sont essentiellement liés aux forces inertielles horizontales qui résultent de la mise en mouvement des masses.

Sur les ponts, l'essentiel de la masse est généralement concentré au niveau du tablier. L'effort provient donc de celui-ci et descend dans les appareils d'appui, les piles, les culées, les fondations.

Vis-à-vis des sollicitations verticales (environ 2 fois plus faibles que les sollicitations horizontales), les charges sismiques à vide sont généralement couvertes par le dimensionnement sous charges d'exploitation et ne posent donc pas de problème particulier.



(Pont sur la rocade autoroutière d'Alger, au-dessus de l'oued EL Harrach, suite au séisme du 21 mai 2003)

Fig III.2 -Déplacement latéral des trois travées.

III.1.5.Actions accidentelles d'origine fonctionnelle

III.1.5.1.Chocs des véhicules sur les dispositifs de retenue

Les chocs sur les dispositifs de retenue ne sont pas très « rares » et il semble plus approprié de les considérer comme une action variable avec une faible occurrence.

Lors du choc d'un véhicule le dispositif de retenue peut être entièrement détruit. Mais son changement est possible.

III.1.5.2. Chocs des véhicules sur les piles de ponts : [6]

Chocs des véhicules sur les piles de ponts sont des accidents relativement fréquents.

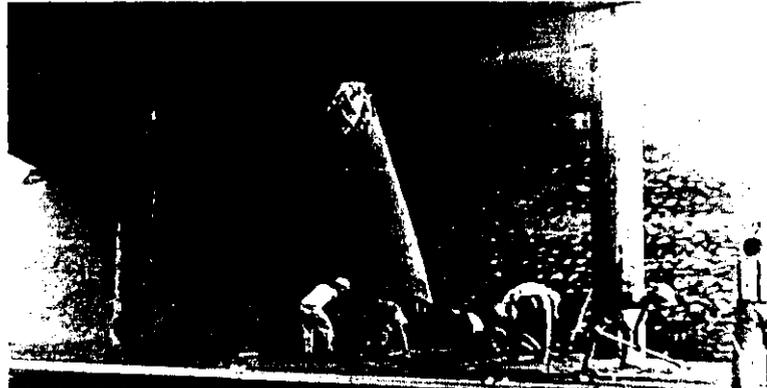


Fig III.3 - Choc de poids lourd sur une pile de pont [8]

III.1.5.3. Chocs sur les tabliers

Le choc sur les tabliers de ponts des véhicules hors gabarit n'est généralement pas étudié, du fait de l'absence de prescription réglementaire à cet égard.

En notant que les chocs sur tabliers sont surtout dangereux dans le cas de tabliers de ponts peu rigide, par exemple tabliers à poutrelles précontraintes par fils adhérents [8] [6].

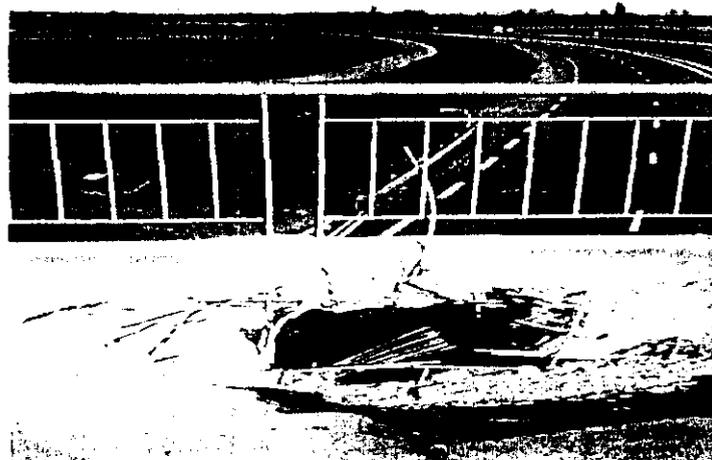


Fig III.4 - Choc de véhicule hors gabarit sur un tablier de pont-dalle [8]

III.1.5.4. Chocs des bateaux sur des piles de pont [8]

Le choc éventuel d'un bateau sur appui en rivière est assimilé à l'action d'une force horizontale appliquée au niveau des plus hautes eaux navigables. On admet que cette force peut être soit parallèle au sens du courant (choc frontal), soit perpendiculaire à celui-ci (choc latéral), mais il est rare que ce type de choc soit appliqué à un ouvrage courant.



Fig III.5 - Choc de bateau sur une pile en maçonnerie [8]

Enfin il est clair que les conséquences de telles situations accidentelles doivent être prises en compte dans la conception et le calcul des ouvrages afin d'éviter un risque majeur.

III.2. La dégradation des matériaux

III.2.1. Les altérations du béton

Les structures en béton vieillissent. Ce matériau subit de nombreuses agressions physiques, physico-chimiques et chimiques dont l'intensité est liée à la cinétique de pénétration de l'eau et des gaz. Cette dernière est fonction de la structure, de la porosité, et de la perméabilité du béton.

III.2.1.1. Dégradations d'origine physique ou mécanique [7]

► *Cycle de gel-dégel*

Les dégradations dues aux cycles de gel-dégel affectent principalement les parties non protégées par un revêtement étanche et sont amplifiées par l'utilisation de sels anti-verglas. Les symptômes les plus courants sont l'écaillage de surface et le gonflement de tout ou partie de la structure accompagné le plus souvent d'une fissuration en réseau.

► *Phénomènes d'abrasion et d'érosion*

L'abrasion: c'est l'usure de la surface par suite de frottement répété et les tempêtes dans les zones dessertes peut conduire à l'abrasion des matériaux.

L'érosion: les ouvrages en site fluvial ou maritime sont sujets à l'érosion due au charriage d'éléments solides soit, du fait d'un fort courant ou sous l'action des vagues pour les ouvrages côtiers. [13]

III.2.1.2. Dégradations d'origine physico-chimique

➤ **Le retrait:** On distingue

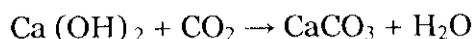
- **Le retrait de prise du béton lors de la construction:** Les variations de volume au début de la prise du béton tendent à provoquer la formation en surface de petites fissures. Ces fissures présentent l'aspect caractéristique des écailles de crocodile
- **Le retrait de durcissement:** Les réactions chimiques liées au durcissement du béton se prolongent longtemps (probablement plusieurs années) et entraînent une diminution de volume appelée retrait au durcissement ou tout simplement « retrait ». Si l'ouvrage ne peut se déformer librement à cause de contraintes appliquées, il se crée des tensions qui peuvent fissurer la masse de béton

III.2.1.3. Dégradations d'origine chimique

III.2.1.3.1. Action du gaz carbonique : la carbonatation du béton

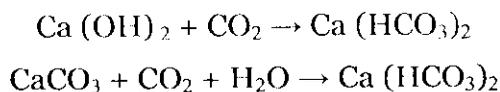
- **Mécanisme**

La teneur en CO₂ de l'air naturellement de 0,03% varie avec la température, la pression et le milieu (agglomération, industries, ...) et peut atteindre 0,10 %. La chaux libérée par l'hydratation des silicates peut se carbonater suivant la réaction :



Cette réaction, catalysée par l'humidité atmosphérique progresse de l'extérieur vers l'intérieur du béton et provoque la neutralisation progressive de l'alcalinité du ciment : le milieu basique (11-12) perd cette alcalinité et son pH devient inférieur à 9. La protection naturelle des armatures n'est alors plus assurée.

Par ailleurs, l'eau chargée de gaz carbonique donne naissance à un acide faible (H₂CO₃ : acide carbonique) et attaque la chaux et le carbonate de chaux suivant les réactions:



Le bicarbonate de chaux ainsi formé est soluble dans l'eau et la destruction du béton a lieu par délavage progressif du liant avec parfois formation de stalactites.

▪ Facteurs influant sur la carbonatation

- nature du ciment ;
- dosage en eau et ciment ;
- mise en oeuvre ;
- milieu ambiant.

III.2.1.3.2. Action des sulfates

L'attaque du ciment par les ions sulfates se traduit par une expansion.

Par exemple, le sulfate de magnésium contenu dans l'eau salée qui comporte également des sels de type chlorure de sodium NaCl, chlorure de magnésium MgCl₂, sulfate de calcium CaSO₄, hydrogéo carbonate de potassium KHCO₃ est le plus nuisible parmi ces sels.

Il réagit avec la chaux hydratée pour donner du gypse CaSO₄, 2H₂O et de la brucite Mg (OH)₂. Par ailleurs, son action sur les aluminates du ciment se traduit par la formation d'étringite (Ca₃Al₂O₆, 3CaSO₄, 31 H₂O). L'expansion due à la cristallisation de l'ettringite (de 300 % environ) provoque la fissuration et la pénétration de l'eau de mer jusqu'aux armatures.

III.2.1.3.3. Action des chlorures

Les deux principales sources de chlorures susceptibles de contaminer le béton sont les sels anti-verglas et l'eau de mer. Les ions chlorures pénètrent dans le béton par diffusion et réagissent avec les aluminates de calcium pour former le chloroaluminate, produit stable et qui se forme sans expansion susceptible de provoquer la dégradation du matériau. Les problèmes apparaissent, en fait, lorsque les ions chlorures non fixés atteignent les armatures, ce qui peut se produire assez facilement dans un tablier de pont.

III.2.1.3.4. L'alcali-réaction

Certains types de granulats contenant des minéraux sensibles en milieu alcalin, sont susceptibles de relarguer de la silice, qui en réagissant avec les éléments de la solution interstitielle, provoque la formation de gels. Ces derniers aux propriétés expansives conduisent à des désordres structurels sous la forme de faïençage, fissures, etc.

La réaction alcali granulats ne se produit que si les conditions nécessaires à son développement sont réunies à savoir :

- des granulats réactifs (riches en silice) ;
- une teneur en alcalins (Na^+ et K^+) suffisante dans la phase interstitielle du béton ;
- un milieu ambiant favorable (humidité, température, ...).

III.2.2. La corrosion de l'acier

La corrosion de l'acier vienne généralement sous l'effet d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, mais les facteurs de corrosion sont très nombreux. D'une manière simplifiée, on peut dire que les uns dépendent du métal lui-même et que les autres dépendent du réactif. Les facteurs dépendant du métal se répartissent en facteurs métallurgiques (composition, traitements thermiques, mécaniques et de surface) et en facteurs liés aux conditions d'utilisation (conception des pièces et des assemblages, sollicitation mécaniques, état de surface). Les facteurs dépendant du réactif sont essentiellement sa nature, sa concentration, son PH, sa teneur en oxygène, la présence d'impuretés.

III.2.2.1. La corrosion atmosphérique

Un acier ordinaire, laissé sans protection spéciale à l'air libre, se couvre d'une couche d'oxydes constituant ce que on appelle la rouille. Cette rouille possède un volume très supérieur à celui de l'acier dont elle est issue : plus du sextuple en cas de renouvellement non limité de l'oxygène.

III.2.2.2. Corrosion des armatures dans les structures en béton armé et béton précontraint

La corrosion des armatures passives dans un ouvrage en béton résulte d'un processus complexe faisant intervenir à la fois des facteurs chimiques, physiques et mécaniques.

L'important gonflement résultant du passage de l'acier à l'état de rouille entraîne un éclatement du béton de protection, tandis que la section résistante des armatures diminue. Mais c'est surtout leur ductilité et leur résistance à la fatigue qui sont affectées.

Chapitre IV :

Causes de Dégradations

dans les Ponts

Causes de dégradations dans les ponts

Introduction

Les ponts peuvent être affectés par des désordres très variables et dont les causes sont multiples, la détermination de ces causes de désordres doit être recherchée dans les trois phases suivantes: la conception, l'exécution et l'utilisation.

IV.1. Causes tenant à la conception

Lorsque on veut chercher les causes de désordres, il faut remonter au début de la conception de l'ouvrage.

- Choix d'un type d'ouvrage inadéquat, eu égard au sol de fondation ou à la nature de l'obstacle à franchir ;
- Sous-évaluation des effets dits secondaires dans les ponts très large, très biaisés ou courbes ;
- Modélisation insuffisante de structures complexes ;
- Absence ou insuffisance d'étanchéité et d'un système d'évacuation de l'eau hors de l'ouvrage ;
- Le non-respect des règles de l'art ;
- Sous-estimation des actions et des combinaisons d'actions ;
- Erreurs dans l'introduction des données dans un calcul automatique.

IV.2. Causes tenant au projet d'exécution

Ces causes proviennent essentiellement d'un non-respect des règles de la bonne construction à savoir [12]

Insuffisances de ferrailage :

- Absence ou insuffisance d'étriers et de cadres généraux ;
- Absence d'armatures de peau ;
- Recouvrements et ancrages trop courts ;
- Arrêts de barres mal disposés.

Défauts dans les plans de ferrailage :

- Condensation d'armatures ayant empêché un remplissage correct du moule ;
- Non reprise des poussées au vide des armatures ;

Dispositions constructives défectueuses :

- Brusque changement de section d'une pièce ; une telle variation entraîne quasi systématiquement l'apparition de fissures au droit du changement de section ;
- Absence de dispositions particulières pour résister à des forces concentrées, surtout lorsqu'elles sont temporaires ;
- Fixation de corniches ou d'équipements (tels les garde-corps) favorisant des circulations d'eau dans la structure ;
- Absence de relevés d'étanchéité adéquats ;
- Absence ou mauvais choix des joints de chaussée ;
- Appareils d'appuis inadéquats ;
- Enrobage insuffisant ;
- Le choix mauvais de la qualité de la chape d'étanchéité.

IV.3. Causes tenant aux conditions d'exécution

La qualité du béton prévue au projet (résistance à la compression, maniabilité) peut avoir été compromise : [12]

- Lors de l'étude de la composition, du fait de la nature et de la qualité des granulats Réellement employés, de l'inadaptation du ciment à la nature de l'ouvrage, etc. ;
- Lors de la fabrication : non-respect de la formule, ajout intempestif d'eau, utilisation inopportune d'adjuvants ;

La fabrication des cages d'armatures peut également avoir conduit à certains déboires :

- Aciers doux substitués de façon irréfléchie aux aciers HA prévus à l'origine (ou inversement) ;
- Manutention de cages d'armatures pré façonnées insuffisamment rigides ;
- Oubli de certains éléments importants ;

Il en va de même lors de la fabrication des cintres et des coffrages qui peuvent avoir été insuffisamment rigides et mal étayés, les contreflèches parfois inadaptées, les joints de panneaux défectueux, le nombre des réemplois excessifs.

Lors de la construction de l'ouvrage, d'autres causes de désordres ont pu intervenir :

- Arrimage défectueux du ferrailage, calage inapte à réaliser les épaisseurs d'enrobage prévues ;

- Défauts de positionnement des armatures, manque de couture en cas de reprise de bétonnage ;
- Soudure d'aciers non soudables choisis ;
- Pliage et dépliage d'armatures HA ;
- Nettoyage des fonds de coffrage insuffisant, laissant apparaître le maillage des armatures (à distinguer de la corrosion) ;
- Reprise de bétonnage mal exécuté : lignes disgracieuses, ragréages guère plus esthétiques ;
- Traitement thermique mal maîtrisé conduisant à des fissurations ;
- Absence ou insuffisance de cure, ce qui accroît la perméabilité du béton et crée une fissuration superficielle ;
- Décintrement précoce entraînant des déformations excessives, voire de la fissuration ;
- Manque de précaution dans la manutention d'éléments préfabriqués à l'origine d'épaufrures ;
- Absence de jeu suffisant aux joints de dilatation ;
- Défaut de qualité du renformis sous chape d'étanchéité et de la chape elle-même. Ce défaut est particulièrement fréquent dans les ouvrages construits avant les années 1950.

IV.4. les désordres et leurs causes affectant les différentes parties de pont

IV.4.1. Causes et la nature des désordres affectant les fondations

- Affouillement : modification du régime d'écoulement des eaux superficielles ou souterraines, détérioration ou contournement des appuis, poussée des terres, tassement.
- Affaissement : sollicitations trop importantes dans les structures.
- Epaufrure: dépassement de la résistance mécanique à savoir : excès de compression, effet de gel, choc de véhicule, l'action du climat, la pression, une expansion à l'intérieur de la masse du béton.
- Tassement : efforts excessifs, Affouillement.
- Tassement du remblai d'accès : absence de la dalle de transition, compactage insuffisant, matériaux du remblai mis en place inadéquats.
- Glissement du remblai d'accès : instabilité du remblai, présence ou infiltration de eaux.

- Affouillement du remblai d'accès : absence de caniveaux d'évacuation des eaux de précipitation. [13]
- Mauvais sol: Lorsque l'ouvrage est localisé sur un sol liquéfiable ou soumis à d'éventuels glissements de terrain, il y a un gros risque de perte de portance et d'effondrement général. [11]
- Les ouvrages fondés profondément dans le substratum rocheux sont, en comparaison des ouvrages fondés superficiellement, moins vulnérables vis-à-vis de ces phénomènes.

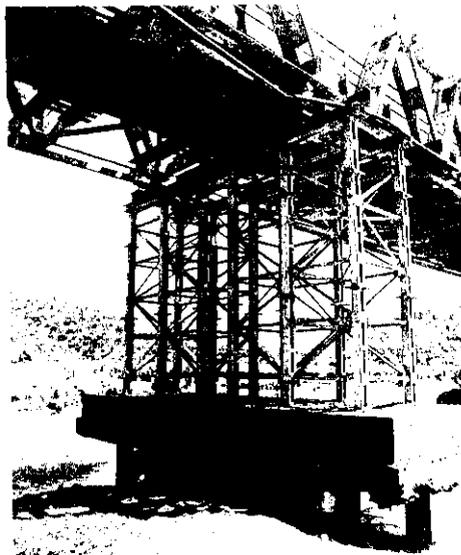


Fig. IV.1- Affouillement de fondations
(On voit bien les pieux- Pont Bejaia -)

IV.4.2. Causes et la nature des désordres affectant les appuis

Affaissement: tassement, efforts excessifs, Affouillement;

Détérioration de béton: agent chimique (l'action des sulfates de l'eau de mer,..), mauvais matériaux;

Rupture des piles : choc des véhicules ou des bateaux;

La description des principaux désordres observés sous l'effet des sollicitations de séisme horizontales fait l'objet des trois sous paragraphes suivantes : [11]

- **Rupture fragile des piles:** La présence de butées latérales supprime généralement le risque d'échappement transversal. Il faut tout fois bien noter que les butées, comme toute autre connexion rigide du tablier sur ses appuis (encastrement, appareils d'appuis à pot mono-directionnels,.....), peut conduire à une forte augmentation des efforts est alors susceptible de provoquer des ruptures fragiles notamment dans les piles. (figure IV.2)

Si leur résistance est insuffisante (manque de ductilité ou de confinement du béton, rupture par effort tranchant, insuffisance d'ancrage ou de recouvrement des aciers passifs,)

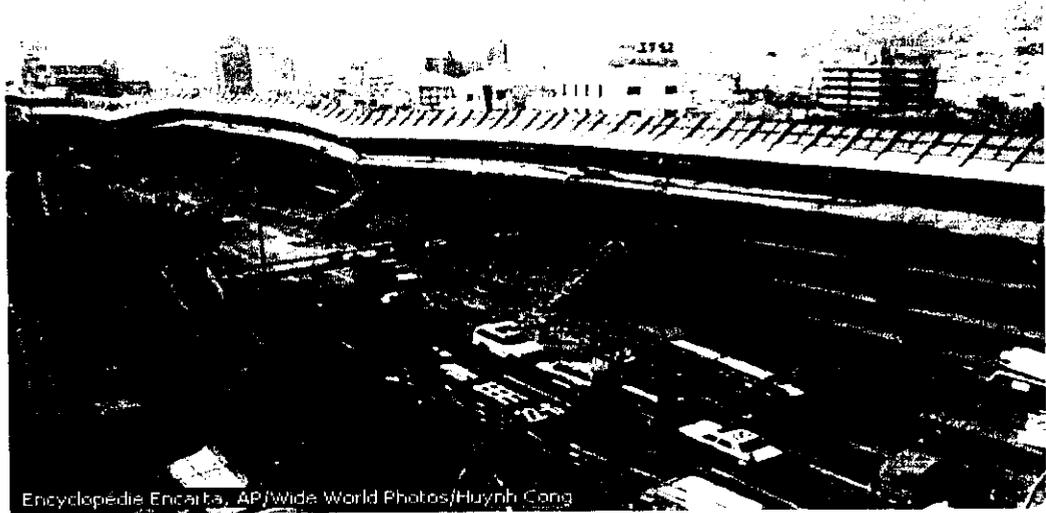


Fig. IV.2-Rupture des piles par effort tranchant dû au séisme
-Pont de kobe japon 1995-

- Endommagement des culées : L'opposition des forces de poussée dynamique des terres et de chocs du tablier sur les culées peut provoquer un endommagement de celles-ci. Notons que plus la hauteur des remblais est grande, plus la culée est vulnérable vis-à-vis des efforts de la poussée dynamique des terres.
- Echappement du tablier de ses appuis: Lorsque les distances de repos d'appui sont insuffisantes, le déplacement relatif entre le tablier et ses appuis peut entraîner un échappement. Ce phénomène, qui peut se produire selon la direction longitudinale ou transversale, concerne plus particulièrement les ponts à travées indépendantes.

Selon la direction transversale, le risque peut être accentué par un biais ou une courbure importante.

Sur les ponts biais, les chocs de culées sur le tablier créent un moment de rotation d'axe vertical dans la structure qui a pour conséquence de pousser le tablier hors de ses appuis.

IV.4.3. Causes et la nature des désordres affectant les équipements

IV.4.3.1. Les dispositifs de retenue

Les principaux désordres peuvent être les suivants :

- Défaut de la géométrie d'ensemble ; il peut résulter :
 - D'un défaut d'alignement ou de nivellement de la structure ;
 - Des chocs occasionnés par des accidents ;
 - Des actes de vandalisme.
- Déformation localisée (dilatation contrariée, dispositions inadaptées pour la dilatation) ;
- Altération à la suite de corrosion sur les métaux ou de vieillissement des matériaux (érosion de la pierre, vieillissement des matériaux plastiques, gel) ;
- Désorganisation des fixations internes au dispositif ;
- Détérioration de l'ancrage dans la structure. [4]

IV.4.3.2. Les trottoirs et les bordures

IV.4.3.2.1. Les bordures :

Les principaux défauts

- L'altération du béton par les sels de déverglaçage ;
- Défauts d'alignement en plan et en élévation, sont d'origine de ;
 - le choc de véhicules
 - la dilatation contrariée
 - la déformation de la structure.

IV. 4.3.2.2. Corps et trottoirs

- Défauts des affaissements (rupture de dalle, enfoncement de remblai) consécutif, au passage des véhicules ou leurs stationnement sur les trottoirs.

IV.4.3.2.3. Revêtement de trottoirs

- Défauts classiques des revêtements (fissuration, décollement) ;
- La présence de végétation.

IV.4.3.3. Couche de roulement

Les dégradations observées sur chaussée courante et sur ouvrage sont de même nature.

En général, il y a quatre familles de dégradations :

- La déformation ;
- Les fissures ;
- Les arrachements ;
- Les remontées ou mouvements de matériaux.

IV.4.3.4. Corniches

Les principaux désordres sont

- Des défauts géométriques, principalement les défauts d'alignement ou de nivellement qui, s'ils ne sont pas d'origine, peuvent provenir de mouvements de la structure ;
- L'absence d'étanchéité entre les éléments de corniches préfabriquées, par vieillissement, par décollement ou par absence du matériau de jointoiment ;
- Des détériorations par insuffisance de liaison à la structure avec fissure, corrosion de la liaison, etc. la cause principale est une mauvaise conception ou un sous-dimensionnement de cette liaison.

IV.4.3.5. Les systèmes d'évacuation des eaux

Les principaux désordres sont :

- Les défauts de confection : difficulté d'accès, dimensionnement insuffisant, tracé et profil mal étudiés (gargouilles débouchant sur une tête de piles, pente insuffisante), dilatation contrariée ;
- Un vieillissement ou l'usure des joints d'étanchéité des tuyauteries ;
- Chocs accidentels ;
- Les fuites résultant de mouvements anormaux de la structure au droit des raccords, de même dans le cas des canalisations sous remblais et qui se rompent par tassement du sol.

IV.4.3.6. La chape d'étanchéité

L'observation des défauts de l'étanchéité est difficile car elle se trouve au-dessous la couche de roulement ou sous les trottoirs. Mais par contre, il est possible d'en observer les conséquences : des traces d'humidité en sous-face du tablier, stalactites, etc.

Les principales causes de défauts l'étanchéité peuvent être :

- L'absence de la couche d'étanchéité complètement ;
- Une discontinuité par défaut de conception ;
- La qualité défectueuse des matériaux ;
- La conséquence de travaux comme : le rabotage, les travaux de réparations sur l'ouvrage, les forages dans le tablier pour passage des câbles ;

Les principaux désordres sont :

- Présence de suintements ou l'efflorescences en sous-face de la structure ;
- Déformation d'un revêtement sur une étanchéité ;
- Remontée du produit d'étanchéité au travers du revêtement (gonflement).

IV.4.4. Les joints de chaussée

IV.4.4.1. Anomalie de l'ouverture du joint

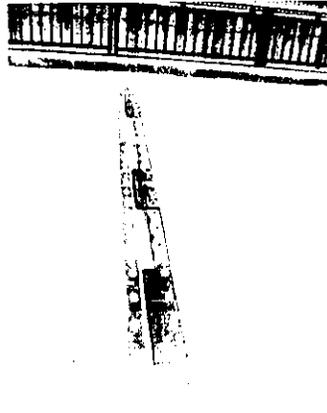
- **Blocage: les causes de blocage sont:**
 - La présence anormale de matériaux dans le joint ou au-dessous;
 - L'absence ou l'insuffisance de joint de dilatation sur d'autres équipements (corniches, garde-corps, etc.) et sur ceux des concessionnaires (tuyaux de gros diamètre).
 - joints de dilatation en mauvais état, résultant d'une conception erronée ou d'un placement peu soigné.
- **Ouverture excessive ou insuffisante** : elle peut résulter d'une
 - Erreur dans le choix du modèle de joint;
 - Erreur de réglage à la base par sous estimation du retrait et du fluage;
 - Erreur sur la position du point fixe ou d'une mauvaise prise en compte des conditions de température à la base;
 - Mouvement d'une culée peut faire varier l'ouverture ou delà des limites prévues.

IV.4.4.2. Fissuration du tapis:

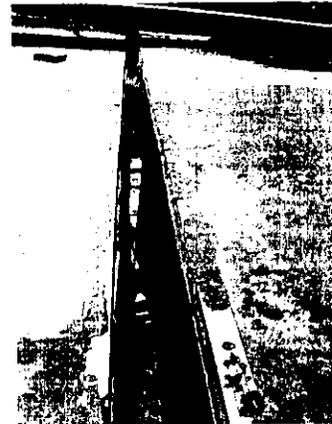
- Ouverture trop importante du joint ce qui casse le tapis (couche de roulement);
- Mouvement des appuis;
- Mauvaise estimation des mouvements des joints;
- Tassement des remblais d'accès.

IV.4.4.3. Mauvaise étanchéité:

- Rupture de la feuille d'étanchéité au droit du joint;
- Désordres au niveau des ancrages, Desserrement des boulons d'ancrages.etc.



Blocage du joint de chaussée



Déplacement longitudinale de tabliers au droit du joint dû au séisme

Fig IV.3-Les désordres d'un joint de chaussée

IV.4.5. Les appareils d'appui [13] [14] [15]

La corrosion: les causes principales de corrosion sont

- L'atmosphère agressive, la présence de végétation nuisible;
- Absence du contrôle et la difficulté d'accès.

Cheminement de l'appareil d'appui: C'est le mauvais fonctionnement des appareils d'appui à savoir:

- Mauvais dimensionnement, mouvement anormal de la structure, mauvaise adhérence (absence de polymérisation) dans le cas d'un assemblage à froid de deux appareils d'appui.

Ecrasement de l'appareil d'appui:

La mauvaise répartition des réactions d'appui et le mouvement des appareils (tassement différences) entraînant l'écrasement de l'appareil d'appui.

Déformation excessive:

La déformation est attendue de plusieurs causes, qui peuvent être:

Mouvement de appuis, rotation du tablier (ouvrage biais et courbes), sous estimation des déformation de la structure à savoir: sous dimensionnement de l'appareil d'appui, le retrait, le fluage, la variation de la température, les charges.

Rupture de l'appareil d'appui: La rupture résulte par:

- Une mauvaise qualité des matériaux;
- Les sollicitations anormales telles que: déplacement d'appui, choc sur le tablier.

Gerçures: vieillissement des appareils d'appui.

La surface d'appui déformée: une mauvaise mise en œuvre à savoir utilisation de coffrage trop déformables.

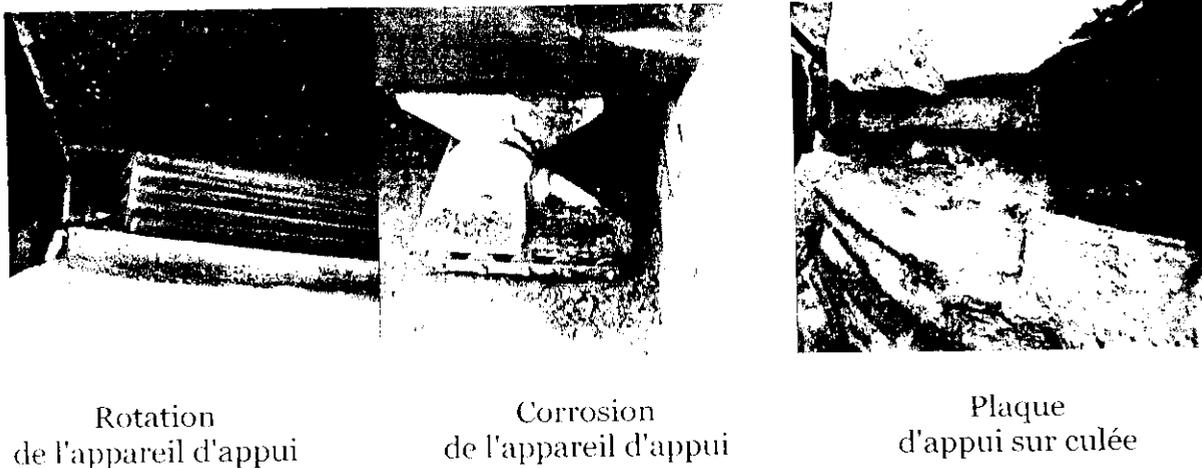


Fig. IV.4- Les désordres d'un appareil d'appui

IV.5. Désordres spécifiques et les causes probables des différents types de ponts

IV.5.1. Ponts en maçonnerie et viaducs

Les causes de sinistres dans les ouvrages d'art en maçonnerie sont dues principalement à la précarité de l'état des appuis, l'accroissement des charges d'exploitation et l'altération des matériaux. Et voilà un tableau qui nous donne les différentes dégradations des ponts en maçonnerie et leurs causes probables.

Tableau IV.1- Défauts affectant les ponts en maçonnerie et leurs causes probables [13] [14] [16]

Affouillement des fondations	Modification du régime d'écoulement des eaux superficielles ou souterraines Détérioration ou contournement des protections des appuis.
Affaissement	Sollicitations trop importantes dans la structure en maçonnerie.
Altération des joints	Phénomène physico-chimique; Infiltration d'eau; Agent atmosphérique
Altération du parement de pierres	Infiltration d'eau (cause directe) Phénomène physique à savoir : effet de gel, vieillissement des matériaux. Phénomène chimique à savoir : action des atmosphères agressives, effets de l'humidité.
Basculement d'une culée	Erosion des berges; Approfondissement du lit.
Décollement	Sollicitations trop importantes dans la structure en maçonnerie; Infiltration de l'eau.
Déversement des murs de tête	L'effet du choc d'un véhicule sur un parapet; Effet transmis au tympan par mobilisation au cisaillement des joints entre moellons.
Dis jointement	D'origine physique : la température de, le gel, abrasion, végétation. D'origine chimique : dissolution du liant.
Dislocation	Existence de diversément dans la structure. Sollicitations trop importantes dans la structure; Perte de la cohésion.
Eclatement et Effritement des pierres	Dépassement de la résistance à la compression de matériaux à savoir : Excès de compression; Effet de gel; Choc mécanique sur la pierre.
Epaufrure de maçonnerie	Dépassement de la résistance mécanique à savoir : Excès de compression; Effet de gel.
Erosion de maçonnerie	Frottement de corps durs sur une maçonnerie; Corrosion de pierre calcaire d'un appui émergé.



Fig IV.5- Affaissement d'un appui [16]

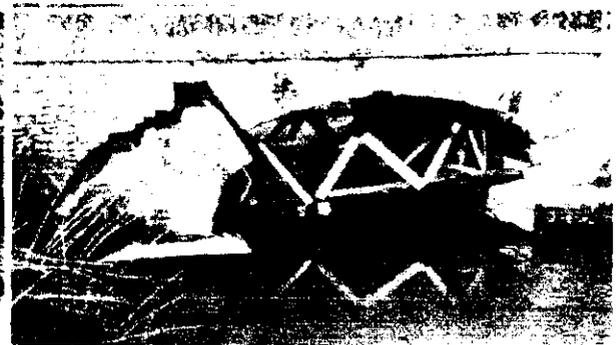


Fig IV.6- Rupture d'une voûte de pont en maçonnerie par écartement des appuis [16]

Les fissures :

Les fissures sont repérées par leur direction dans le parement, et le tableau suivant nous donne les fissures les plus rencontrées.

Tableau IV.2 : Différents types de fissures affectant les ponts en maçonnerie et leurs causes probables [13] [14] [16]

Non-travaux	
Fissures transversales dans les voûtes	Surcharges excessives, mouvement d'appuis (verticalement ou horizontalement)
Fissures longitudinales dans les voûtes	Tassement de fondations Mode de réalisation l'ouvrage La conception (élargissement longitudinal)
Fissures dans les fûts des appuis	Tassement différentiel de la fondation. Désorganisations de la maçonnerie internes due aux contraintes de compression excessives dans le Parement.
Fissures diagonales	Surcharges excessives Mouvement d'appui

IV.5.2. Ponts en béton armé

Les principaux défauts dans les ouvrages en béton armé sont résumés dans le tableau suivant avec les causes probables de chaque désordre, le classement de ces défauts est donné par l'ordre alphabétique.

Tableau IV.3 -Défauts affectant les ponts en béton armé et leurs causes probables [14] [15] [17]

Aciers dénudés	Disparition ou enrobage insuffisant du béton. Attaque du béton. Choc mécanique. mauvaise étanchéité.
Basculement	La poussée des terres, tassement, consolidation, sous-pression, affouillement.
Corrosion aciers	Prise en compte ou évaluation insuffisante de la notion de fissuration. Acier dénudé, mauvaise étanchéité, enrobage insuffisant, erreurs de calculs. Conséquences : Fissures dues à la redistribution des efforts, épaufrures, aggravation des flèches permanentes et déformation des poutres, dalles et coques, perte de précontrainte, instabilité et rupture.
Corrosion béton	Action de l'eau ou d'ambiance agressive; Formation de sels de Candlot; Effet du gel.
Défaut du parement	Mauvaise réalisation ou mauvaise conception du coffrage; Tassement du cintre; Décoffrage prématuré.
Déformation-Flèche permanente	Diminution de la précontrainte dans le temps; ayant pour origine : - Surcharge de tout ou partie d'ouvrage - Diminution de la précontrainte dans le temps - Déformations des parois
Déformation permanente anormale de la superstructure	Qualité du béton insuffisante; La hauteur de construction réduite; Décoffrage prématuré.
Désintégration généralisée	Corrosion chimique du béton, corrosion des aciers; Gel; Effort mécanique excessif.
Efflorescence	Mauvaise étanchéité de l'ouvrage.
Epaufrure	Le choc, action du climat, la pression ou une expansion à l'intérieur de la masse. Se situe souvent le long du tracé d'armatures (gonflement par la rouille) ou sur les arêtes.
Flèche permanente	Surcharge de tout ou partie d'ouvrage
Gonflement	Gel, Attaque chimique, Phénomène d'alcali-réaction (faïençage).
Nids de cailloux	Béton mal confectionné
Porosité	C'est un cas important de défaut de (suite) qualité du béton. Il faut distinguer ce défaut des simples défauts de parement. Peut avoir pour conséquences : des suintements, des efflorescences, des stalactites, corrosion béton, corrosion acier, gonflement, désintégration, fissures.
Stalactite	Porosité ou Fissuration du béton

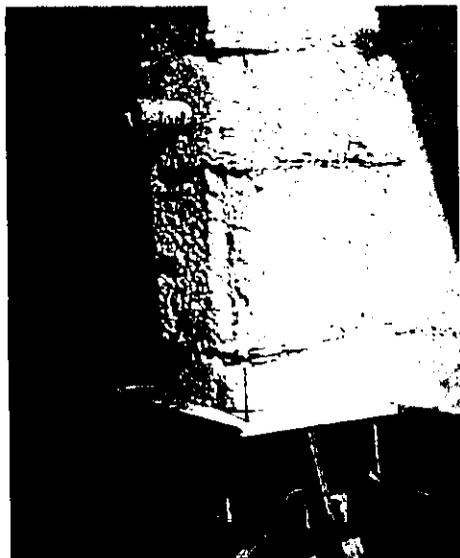


Fig IV.7-Nids de cailloux dus à une insuffisance de vibration



Fig IV.8-Eclatement de béton et la corrosion des armatures



Fig IV. 9 - gonflement de béton et corrosion des armatures

Les fissures :

Les fissures ne sont pas à considérer a priori comme un désordre. Leur existence et leur configuration doivent cependant toujours attirer l'attention du visiteur. Car elles peuvent rendre le matériau plus sensible à certaines agressions. Soit le tableau suivant qui donne les différents types de fissures.

Tableau IV.4 -Différents types de fissures affectant les ponts en béton armé et leurs causes probables [13] [14] [17]

Nom du défaut	Causes probables
Fissures courantes (Dans la masse)	Apparaissent en général sur des surfaces soumises à une dessiccation excessive avant la fin de prise du béton; Retrait lors du durcissement; On indiquera si elles sont longitudinales, transversales ou non orientées.
Fissures de désintégration	Compression excessive ; Effet de gel
Fissures en écailles de crocodile	Retrait de prise du béton.
Fissures inclinées dans l'âme	Cisaillement
Fissures internes	Déplacement du coffrage, Variation de température et Variation de l'hygrométrie.
Fissures isolées	Dépassement de résistance causé par : Le retrait ou les variations de température.
Fissure oblique	Tassement des fondations.
Fissures produites pendant la prise du béton	La vibration due à la circulation des véhicules; Mouvement des coffrages.
Fissures reproduisant le ferrailage	Apparaissent à la construction par suite d'une vibration des armatures (s'observe en général sur l'ouvrage non revêtu).
Fissures superficielles	Phénomène de retrait

IV.5.3. Ponts en béton précontraint

Les défauts dans les ponts en béton précontraint se manifestent par des fissures préjudiciables, le tableau suivant donne ses défauts et leurs causes probables.

Tableau IV.5 -Défauts affectant les ponts en béton précontraint et leurs causes probables [13] [14] [17]

Corrosion des armatures	L'eau et même l'humidité, dans la plupart des cas contaminé avec des agents corrosives comme chlorure et sulfure, sont responsables pour la corrosion des aciers de précontrainte; Enrobage de béton insuffisant.
Gaine ou Armatures de béton précontraint apparentes	Manque de recouvrement par le béton; Mauvaise vibration du béton mis en place; Gaines extérieures détériorées; Infiltration de sels de déneigement à travers le revêtement non étanche.
Fissures de direction verticales dites de flexion	Les gradients thermiques ; Les insuffisances de précontrainte ; Conception à savoir : -surestimation de la précontrainte initiale ; -sous-estimation des pertes par relaxation. Exécution à savoir : -perte par forttement excessives ; -rupture de files ou de torons au moment de mise en tension -rupture de files par corrosion dans un ouvrage en services -déplacement durant le bétonnage de conduits mal fixés. Un excès de charges permanentes, à savoir : -sous-estimation des poids des équipements ; -non-respect du plan de coffrage ou déplacement accidentel des coffrages avant la prise du béton. Les effets parasites et les charges excessives à savoir : -effets de charges ponctuelles apportées en exécution (les appareils de manutention...); -non-respect des phasages de bétonnage prévus par le bureau d'études ; -tassement différentiel des appuis hyperstatique ou mouvement des massifs de fondation.
Fissures longitudinales inclinées à 45° dites d'efforts tranchants	Les effets thermiques ; Les effets parasites et les charges excessives ; Les insuffisances de précontrainte verticale ; Mauvais estimation de la répartition des efforts tranchants entre les âmes d'un caisson multicellulaires ; Absence de la double vérification à droite et à gauche d'une section comportant des arrêts de câbles.
Fissures le long des câbles de précontrainte	Gel de l'eau circulant dans les gaines de précontrainte; Précontrainte excessive; Corrosion des fils ; Mauvais positionnement des gaines de précontrainte; Enrobage du béton insuffisant.

Fissures suivant le trace des câbles	La mise en tension est effectuée sur un béton jeune; Une zone de forte compression; La section de béton est réduite au droit de conduits; Mise en tension non conforme aux instructions du bureau d'étude.
Fissures de diffusion et d'entraînement	Application d'un effort sur une petite surface d'une plaque et dans son plan; L'arrêt des câbles dans les hourdis supérieur et inférieur; Effort concentré à proximité des ouvrages.
Fissures de poussée au vide	Mauvaise conception; Le Phénomène de poussée au vide des armatures de Précontraintes.



Fig IV10 - Corrosion importante des armatures de précontrainte: fils rompus

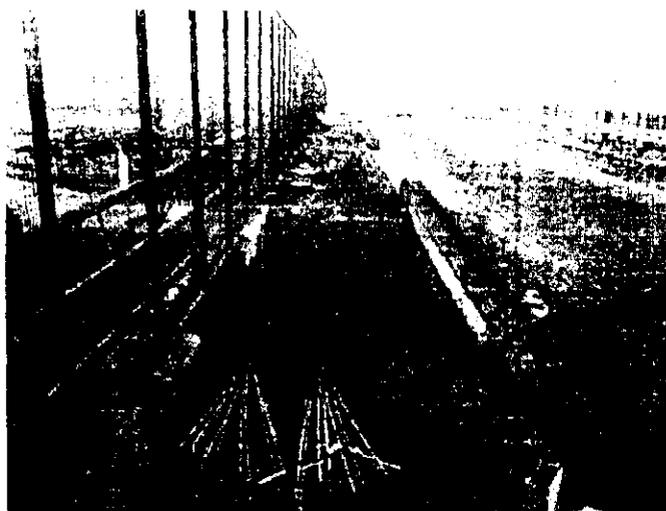


Fig. IV.11- Rupture des câbles précontraints de la poutre de rive à la suite d'un choc de véhicule (Pont oued smar)

IV.5.4. Ponts métalliques

Les désordres affectant les ponts métalliques ont principalement deux origines:

- L'une physico-chimique comme la corrosion
- L'autre mécanique comme la fatigue, la désorganisation d'assemblages boulonnés ou rivés, les voilements ou déversements.

Tableau IV.6-Défauts affectant les ponts en métalliques et leurs causes probables [14] [18]

Blocage des appareils appuis des articulations des joints de chaussée	Encorbellement des mécanismes par des dépôts divers à savoir : poussières, cailloux, végétation ; Encorbellement des espaces libres par des produits de corrosion ; Défaut de conception traduisant une impossibilité physique pour des déplacements (exp: tête de rivets mal placées très des rouleaux)
Chevauchement de joints de chaussée	Choix d'un joint inadapté ne permettant pas les mouvements imposés par l'ouvrage ; Mauvais réglage d'un joint bien adapté.
Corrosion : -Corrosion par piqûres -Corrosion généralisée -Corrosion des deux types -Enrouillement	Les réactions chimiques ou de électrochimiques ; Mauvais système d'évacuation des eaux (cheminement des eaux entre les pièces, les eaux résiduelles, ...) L'entretien des surfaces corrodées
Défauts des dispositifs des eaux	Mauvaise conception ; Vieillesse entraînant un écoulement d'effectuer ou inexistant des eaux.
Défauts des systèmes de protection	Absence du système de protection (surfaces difficilement accessible, mise en peinture non effectuée) ; Mauvaise conception du système de protection à savoir : -choix inadéquat pour l'ambiance considérée ; -incompatibilité des couches entre elles.
Déversement	Effort de flexion (ou flexion composée) excessif.
Fissures : -Fissuration des assemblages (soudures, rivets et boulons) ; -Fissuration dans les platelages	Concentrations des contraintes dues d'un défaut géométrique Mauvais choix des matériaux ; Propagation lente d'une fissure amorcée au voisinage d'une soudure ; Mauvaise conception de l'assemblage ; Phénomène de fatigue.

Flambement	Effort axial de compression excessif
Flèche anormale	Mauvaise calculs; Phénomène de fatigue.
Foisonnement	Propagation de la corrosion entre pièces accolées
Gauchissement	Effort de torsion excessif de la pièce
Gonflement	Foisonnement entre deux pièces
Réduction d'épaisseur	Corrosion généralisée
Voilement	Effort de compression excessif



Fig. IV.12- Corrosion des rivets dans un pont métallique

Chapitre V :

Etude d'Expertise

Etude d'expertise

V.1. Introduction

V.1.1. Définition

L'expertise désigne toutes les actions menées pour évaluer l'état d'un ouvrage présentant un désordre pathologique, Elle est réalisée par des agents qualifiés - experts spécialistes - pour prescrire un avis technique sur l'état de la construction.

L'expertise peut être résumée à :

- Détermination de l'origine des désordres
- Proposition de mesures de réhabilitation.

V.1.2. But des expertises [19]

Une expertise peut être menée dans les cas suivants :

- Visualisations des désordres et anomalies qui apparaissent dans une construction suite à :
 - Des catastrophes naturelles comme les séismes, les inondations, les tempêtes, ...
 - Des incidents accidentels tels que les explosions, les feux, les travaux dans l'ouvrage concerné.
- Observations des désordres et anomalies existants dans une construction qui sont dues à :
 - Son vieillissement.
 - Son usure (exploitation).
 - Mauvaise ou absence de maintenance
 - Défauts d'exécution et mauvaise qualité des matériaux.
- Constatation de l'état actuel d'un ouvrage dans le but de faire des modifications dans sa conception :
 - Surélévation.
 - Extension en plan.
 - Travaux ou modifications qui touchent les éléments structuraux.
- Relevé de l'état actuel d'un ouvrage dans le but de changer sa destination d'exploitation.
- Préconisation d'un avis technique de démolition.

V.1.3.Types d'expertises

Les expertises sont classées en trois grandes catégories :

V.1.3.1.Expertises techniques

Elles sont demandées par le maître de l'ouvrages ou les locataires. Elles ont généralement pour but tout ce qui a été cité précédemment.

V.1.3.2.Expertises techniques à caractère juridique

Elles sont évoquées dans le cas de la nécessité d'un avis technique pour pouvoir statuer lors d'un conflit juridique lié aux :

- Apparitions des désordres, responsabilités de leurs apparitions ou de leurs réparations.
- Problèmes d'extension, de surélévation avec opposition aux tiers.
- Autres problèmes liés à l'ouvrage considéré.

Ce type d'expertises est exigé par l'instance judiciaire (obligatoire) [18].

V.1.3.3.Expertises d'un ouvrage à la demande des compagnies d'assurances

Elles sont imposées par la compagnie d'assurance. Elles peuvent être demandées avant d'élaborer le contrat d'assurance pour visualiser l'état actuel de la construction et faire apparaître les différents désordres et anomalies ou après l'élaboration de ce contrat comme un outil de contrôle.

V.2. Les étapes d'élaboration d'une expertise

Après la déposition d'une demande sollicitant l'expertise d'un ouvrage donné auprès de l'organisme chargé des expertises, l'expert doit poursuivre les étapes suivantes:

V.2.1. Visite préliminaire [19] [20]

C'est la première démarche que doit effectuer l'expert. Elle lui permet de visualiser l'état des lieux. Le but de la visite consiste à recueillir le maximum d'informations sur l'ouvrage pour poursuivre les autres étapes de l'expertise, les informations qui doivent être relevées sont:

- Examen du degré de corrosion
- Examen sur place de la qualité du béton et de la maçonnerie

- Examen des culées et piles, surtout les fondations en mentionnant les désordres visibles tels que les dislocations, éclatements, affouillements.
- Marquage des points de prélèvement d'échantillons et bilan des désordres de façon préliminaire.
- Placement de témoins sur les fissures susceptibles de s'élargir
- Prise des photos de la vue générale et des désordres majeurs.

Les conclusions de la visite préliminaire, sont rassemblées dans un rapport contient :

- **Historique de l'ouvrage:** l'age de l'ouvrage, les catastrophes ^{qui} ont déjà atteint l'ouvrage, réparations déjà apportées à l'ouvrage.
- **Situation de l'ouvrage:** la topographie du terrain, l'existence d'autres d'ouvrages à coté, le niveau de la nappe phréatique.
- **Description de l'ouvrage:** système porteur, type d'ouvrage et dimensions principales.
- **Inventaire des pièces et plans existants.**
- **Constatation des désordres:** les fissures, dégradation du béton, corrosion des armatures, avec illustration des photos.
- **Proposition concrète pour la poursuite de l'expertise**

V.2.2. Visite détaillée

C'est la visite détaillée de tous les éléments constituant l'ouvrage, est effectuée par des spécialistes, en principe cette inspection répond à la majorité des questions que l'ingénieur se pose au cours des examens visuels faits pendant les visites préliminaires.

Pour chaque type de pont, il y a une expertise particulière, alors l'expert établit un rapport de visite détaillé qui devra comporter : [13]

- Les différentes constatations effectuées lors de la visite préliminaire avec illustration photographique de tous les défauts de toutes les parties d'ouvrage;
- Géométrie de l'ouvrage: déformation, gonflement, déversement du tablier et position des piles et culées;
- Un lève topographique de l'ouvrage;
- Les comptes rendus des différentes analyses d'échantillons effectuées lors de l'inspection avec leur interprétation:

- **Pour les ponts en béton:**

Prélèvement d'échantillons en béton et examen au laboratoire (Essai de résistance, Etat des armatures);

- **Pour les ponts métalliques:**

Prélèvement d'échantillons d'acier (le prélèvement se fait sur des points où l'affaiblissement de la section ne comporte aucun risque) et examen au laboratoire, (Essai de résilience, Examen de la structure métallographique, Examen chimique);

- Une note de synthèse récapitulant les conclusions sur le niveau de service de l'ouvrage, et des équipements, et la nature des actions à entreprendre (surveillance, travaux d'entretien, restriction de la circulation).

V.2.3. Rapport final de l'expertise

Rapport final de l'expertise établi par l'expert devra comporter l'ensemble des rapports des étapes précédentes, ce rapport donnant des interprétations aux anomalies constatées et proposera des solutions appropriées aux problèmes rencontrés.

Le rapport sera rédigé conformément au plan-type ci-dessous:

- Préambule
- But de l'expertise
- Description de l'ouvrage ou état des lieux
- Constatation des désordres
- Interprétation des désordres
- Solutions et remèdes (des propositions de mesures de maintenance de l'ouvrage)
- Conclusion

V.3. Procédures

La procédure à suivre lors de la visite d'un ouvrage dépend de plusieurs facteurs inhérents à l'environnement, au type de la structure, à l'importance structurale de celui-ci, ...etc.

Voilà un résumé des différents points à considérer lors de la recherche des signes d'anomalie dans les éléments principaux d'un ouvrage. Ces éléments peuvent se grouper en quatre catégories; les fondations, les infrastructures, les superstructures et les équipements. Ensuite, sont traités les problèmes spécifiques à chaque type de

conception; ponts en maçonnerie, ponts en béton armé, ponts en béton précontraint et ponts métalliques. [21]

V.3.1. Eléments communs à tous les types de pont

V.3.1.1. Fondations

- Les risques d'affouillement sont les plus dangereux pour des fondations dans les ouvrages sur cours d'eau. Donc, il y a lieu d'apprécier les risques d'affouillement à chaque visite.
- Par ailleurs, il existe souvent non seulement des affouillements mais aussi des cavités plus ou moins importantes dans les maçonneries immergées, qu'il faut boucher dès qu'elles sont décelées.
- Par un contrôle périodique et après toute crue importante, il y a lieu de vérifier la position et l'état des enrochements et des gabions, de façon à les entretenir avant qu'il ne soit trop tard.
- La détérioration des matériaux de construction peut également causer des ennuis aux fondations. Elle peut se déceler en examinant:
 - Si les pieux en bois n'ont pas subi l'attaque d'insectes de champignons et si leur état est bon;
 - Les pieux métalliques sont sujets à la corrosion;
 - Les pieux en béton peuvent se fissurer ou éclater.
- Des eaux souterraines agressives chimiquement, peuvent accélérer considérablement la détérioration des fondations. Un échantillonnage de ces eaux peut parfois permettre de dire que le risque est assez considérable.
- Lors des inspections détaillées, la vérification de l'absence de tassement, sera un moyen à ne pas négliger en terrains susceptibles d'instabilité.

V.3.1.2. Infrastructures : Il faut examiner

- Les mouvements anormaux ou excessifs;
- L'incidence des fissurations;
- Les dommages accidentels tel que les distorsions;
- Le flambage et l'effritement des matériaux.

Il y a lieu aussi de vérifier s'il existe des accumulations de débris aux sommiers d'appui, car cette situation contribue à la dégradation des appareils d'appui et du béton.

Culées et murs en aile

- Vérifier s'il existe des fissurations dans les murs en ailes et dans la culée ou à l'endroit où ils se rejoignent, où si l'on trouve des espaces libres inadéquats ou anormaux entre le couronnement de la culée et les diaphragmes du tablier.
- Déterminer si les barbacanes et les drains ne sont pas obstrués et fonctionnent correctement.
- Contrôler la maçonnerie pour voir s'il n'y a pas de fissurations dans le mortier, de la végétation, d'infiltration d'eau par les craquelures, de blocs épaufrés, éclatés ou altérés.

V.3.1.3. Superstructures

- Il faut vérifier que le béton ne présente pas d'épaufrures aux points d'appui.
- Etablir un inventaire des fissures mises en évidence sur les principaux éléments.
- On vérifie généralement l'épaisseur de recouvrement des armatures à l'aide d'un pacomètre. Mais des tâches de rouille sur la surface du béton (provenant de la corrosion des armatures) peuvent constituer parfois des indications visibles d'un manque de recouvrement.
- Les faces internes des poutres-caissons nécessitent un examen particulier pour déceler des signes de fissures éventuelles et également pour vérifier s'il n'y a pas d'accumulation excessive d'eau ou de débris.
- Il faut examiner les éléments situés en dessous du tablier, particulièrement sur les intrados et les poutres de rives, pour qu'ils ne risquent pas de se détacher et de tomber sur les véhicules passant en dessous.

V.3.1.4. Les équipements

V.3.1.4.1. Appareils d'appuis

Il est nécessaire de considérer plus particulièrement les facteurs suivants :

- Les appareils et plaques d'appuis doivent être en bon état; n'avoir subi aucune corrosion et il ne doit s'y trouver aucune cause de forces de frottement excessives entre la superstructure et l'infrastructure.
- Contrôle de la position et de l'alignement des appareils d'appuis.
- L'appareil doit être réglé correctement par rapport à la température ambiante.
- Il faut visiter les appareils d'appuis et les clavettes latérales de cisaillement sur les structures biais ou en courbe, afin de déterminer s'ils ne sont pas bloqués ou s'ils ont été endommagés par suite de déplacements imprévus de l'ouvrage.

- On doit vérifier si les boulons et écrous d'ancrages sont bien serrés.
- Il faut s'assurer de l'uniformité de la répartition des charges entre les différents appuis et vérifier plus particulièrement si aucun d'entre eux n'est déchargé.
- Pour les appareils d'appuis en élastomère, on doit vérifier si la frette n'est pas éclatée, déchirée ou fissurée et si elle ne présente aucune courbure ou distorsion.

V.3.1.4.2. Joints de chaussée

Il faut porter une attention particulière aux défauts suivants :

- Desserrement ou déplacement du joint et de ses composants;
- Jeu insuffisant ou défaut d'alignement du joint;
- Déplacement relatif d'une partie du joint par rapport à l'autre;
- Défaut d'étanchéité du joint;
- Fissuration des revêtements au niveau du joint.

V.3.1.4.3. Système d'évacuation des eaux

L'eau peut causer d'importants dégâts aussi bien quand elle stagne dans une flaque que quand elle coule sur l'ouvrage. Les principaux défauts à surveiller sont :

- Obstruction et mauvais fonctionnement des avaloirs et des conduites d'eau;
- Les sorties d'eau; il faut s'assurer que l'eau est évacuée hors de l'ouvrage;
- Les fuites dans les conduites d'eau;
- Le dévers de la chaussée est bien respecté pour éviter toute stagnation d'eau sur le revêtement.

V.3.1.4.4. parapets, garde corps et glissières de sécurité

Il faut guetter :

- Les dommages dus à des accidents de circulation;
- Le desserrage des boulons.

V.3.2. Ponts en maçonnerie [17]

La visite annuelle comprendra essentiellement :

- Un examen visuel de l'ensemble de la structure;
- Vérification à l'étiage si les fondations sont correctement protégées des affouillements;
- Signaler les éclatements de moellons et de briques, les chutes de pierres, etc.
- Signaler, s'il y a lieu, les nouvelles venues d'eaux, les éclatements de pierres ou de briques, les nouvelles stalactites, les fissures avec leurs localisations, etc.

Fissures:

- S'assurer de l'écartement constant des appuis en relevant l'ouverture éventuelle de joints sur les tympans, la fissuration transversale des voûtes au voisinage des retombées et de la clé, les décollements entre le parapet et le tympan, etc.
- Indiquer sur un développé schématique les fissures existantes au niveau des bandeaux et chaînes d'angles et noter leurs prolongations éventuelles dans les tympans, les parapets ou les fondations;
- Relever les fissures et les déversements des tympans;
- Lors de l'inspection détaillée il y a lieu de :
Exécution de relevé sur les plans d'inspection illustrant les différentes dégradations observées (docilement de pierres, ouverture des joints de maçonnerie, humidité, déplacements, fissures, etc.).

V.3.3. Ponts en béton armé

La visite annuelle portera essentiellement sur les points suivants :

- Recherche de fissures, éclatements et tâches de rouille avec indication de leur emplacement, de leur importance, ouverture et forme indiquées sur un croquis. Pour chaque indice observé, on indiquera s'il est observé pour la première fois. Dans le cas contraire, quelle a été son évolution depuis la dernière observation.
- Recherche des indices décelant une décomposition du ciment.
- Examen attentif des parties de l'ouvrage au voisinage des appuis, des noeuds d'encastrement, jonctions des pièces.
- Examen spécial des zones d'appui.
- Voir s'il y a des défauts d'étanchéité des chapes où des revêtements de protection. Les principaux indices décelant des défauts d'étanchéité sont les suivants :
 - Traces d'infiltrations
 - Efflorescences
 - Stalactites
 - Apparition de lignes blanches le long des fissures (preuve d'un entraînement de la chaux par les eaux)
- Examen particulier des lignes apparentes des reprises de bétonnage.

Au cours des inspections détaillées, on vérifiera notamment :

- Le jeu, l'état de toutes les parties articulées, ou semi articulées

- Le nivellement des appuis
- Les flèches permanentes (éventuellement)
- L'ouverture des joints de chaussées les plus importants et on relèvera leurs éventuels mouvements horizontaux dans le sens transversal.

V.3.4. Ponts en béton précontraint

Avant d'effectuer la visite, on s'efforcera d'apporter les renseignements ci-après:

- Quel est le système de précontrainte employé ?
- Quel est le type et la provenance des aciers constitutifs des câbles ?
- Le mode de protection des câbles.
- Quelle a été la composition du coulis d'injection ?
- Quels contrôles ont été effectués à la construction ?

Lors d'une visite annuelle, il y a lieu d'observer les fissures et les traces d'eau et de rouille qui reste un élément essentiel permettant de déceler les désordres.

On cherchera particulièrement à observer les fissures, même si elles sont très fines, la où elles se produisent couramment :

- Sous le hourdis coulé en place, dans le sens transversal;
- Sur les âmes des poutres, principalement dans les quarts extrêmes des portées;
- Sous les talons des poutres;
- Surveiller l'état des zones d'ancrage, car toutes insuffisances dans ces zones risque de permettre des infiltrations d'eau entraînant la corrosion.

Au cours des inspections détaillées, on vérifiera surtout :

- Les fissures éventuelles et leurs évolutions dans le temps (avec fissuromètre)
- Les flèches (un élément de diagnostic important) anormales qui ont tendance à s'accroître vers le bas;
- Que le fluage entraîne un raccourcissement progressif du tablier de pont en B P, raccourcissement qui peut se prolonger pendant une dizaine d'années à partir de la construction. Ce raccourcissement peut entraîner l'ouverture excessive des joints de chaussée et des distorsions dommageables des appareils d'appuis C'est en mesurant certains de ces effets qu'on suivra l'évolution du fluage et qu'on surveillera ses autres conséquences avant que celles-ci ne deviennent dommageables.

- L'état des matériaux, en disposant :
 - De l'auscultation dynamique en ce qui concerne le béton.
 - De la gammagraphie en ce qui concerne la position, le remplissage et la densité du coulis et la continuité des aciers, de gaines de précontrainte.

V.3.5. Ponts métalliques

La visite annuelle portera essentiellement sur :

- L'état général de la peinture sur toute l'ossature;
- L'état des rivets ou des cordons de soudure reliant les barres de triangulation aux membrures, les longerons aux pièces du pont et les pièces aux fermes principales;
- L'état des maçonneries (piles et culées);
- L'état des platinages;
- L'état des pièces d'extrémités des tabliers qui peuvent se trouver en contact avec le terrain;
- L'état des appareils d'appuis;
- Pour les ponts anciens en fonte, on cherchera à déceler toutes les cassures tant dans le corps des pièces que dans leurs assemblages (par observation visuelle de la peinture);
- On doit porter attention à l'amorce de voilements des tôles qui peuvent survenir pour d'autres causes;

Au cours des inspections détaillées, on vérifiera notamment :

- Le serrage des boulons et l'état des rivets, l'adhérence des cordons de soudure sur les éléments qu'ils assemblent.

Chapitre VI :
Méthodes de Renforcement
ou
de Réparation d'un Pont

Méthodes de renforcement ou de réparation d'un pont

VI.1. Introduction

Dans le cadre de la réparation, rénovation et confortement ainsi que dans le but de remettre les ouvrages en état, diverses techniques sont utilisées. Mais il n'y a pas de démarche rationnelle permettant de choisir, de façon infaillible, la ou les techniques optimales de réparation ou de renforcement d'un pont. Un projet de cette nature doit être obligatoirement établi par un ingénieur expérimenté, mais sa qualité dépend étroitement de la qualité de l'expertise qui l'a précédé.

L'approche du problème doit donc être globale, ce qui veut dire que la fiabilité de toutes les parties de l'ouvrage doit être examinée, depuis les fondations jusqu'à ses équipements. Un bon projet de réparation ou de renforcement ne saurait être établi sans tenir compte d'une part de l'âge de l'ouvrage et d'autre part des données et contraintes de toute nature de l'opération.

Les différentes techniques, en fonction du type d'ouvrages (pont en béton armé, maçonnerie métallique), des désordres apparents et du but recherché. Il reste bien entendu que l'utilisation de ces techniques, ne doit pas modifier la répartition et le sens des efforts dans la structure et ne conduit pas à des surcharges anormales sur toute ou une partie de la construction.

Le choix d'une méthode est dicté par des considérations techniques, économiques et esthétiques.

VI.2. Techniques de réparation des ponts en maçonnerie :

1) Rejointoiement des maçonneries : Suite à une altération des parements de la maçonnerie et ou des joints entre pierres, on procède au rejointoiement.

► Rejointoiement manuel :

- Dégarnissage, nettoyage et lavage.
- Colmatage par mortier de ciment (dosage 400kg / m³).

► Rejointoiement mécanique :

Le rejointoiement se fait avec une machine à air comprimé. Elle permet d'effectuer des bourrages en fond. [20]

2) Injection :

Colmatage des importantes fissures, couverture 5mm et remplissage des vides à l'intérieur de la maçonnerie, qui permet de rétablir l'intégrité de la construction.

Cette technique requière la plus grande prudence et doit éviter l'injection dans les systèmes de drainage.

3) Chemisage armé et ancré :

Dans le cas des voûtes présentant des dégradations avancées et ne permettant plus de garantir la sécurité, on procède au renforcement de voûte par une coque en béton armé avec incorporation de centres métalliques légers et ancrage dans la maçonnerie.

Cette technique est utilisée aussi pour le renforcement des appuis (culées, piles). Le béton est projeté dans le 1er cas et coffré dans le 2ème cas.

4) L'adjonction d'armature:

Deux techniques sont envisageables dans ce cas :

- La reconstitution ou le remplacement du ferrailage par « greffe » de nouvelles armatures internes au béton, ou l'adjonction d'armatures supplémentaires dans le béton en surépaisseur. La nouvelle couche du béton est solidement connectée à l'ancienne structure.
- Cette technique est utilisée dans le cas où le béton superficiel enrobant les armatures a été particulièrement ou totalement détruit.

Dans le cas où le béton a gardé une bonne constitution de surface, on procède à l'adjonction de nouvelles armatures externes par collage de tôles à la surface du béton

VI.3. Techniques de réparation des ponts en béton:

Suivant l'importance et les causes des désordres ou des insuffisances affectant un pont en béton, le projet de réparation et/ou de renforcement repose, en général, sur la mise en œuvre d'une combinaison de plusieurs techniques que l'on peut ranger dans l'une des cinq catégories (auxquelles s'ajoute, dans les cas extrêmes, la solution de la démolition - reconstruction) :

- ▶ Les traitements de surface : ragréage et injection des fissures ;
- ▶ La protection du béton et des armatures ;
- ▶ La régénération des matériaux ;
- ▶ L'ajout de forces ;
- ▶ L'ajout de matière.

VI.3.1. Pour les ponts en béton armé:

La réparation ou le renforcement de la structure de ce type de ponts fait appel le plus souvent à "l'ajout de matière", plus rarement à "l'ajout de forces".

Les techniques d'ajout de matière sont utilisées pour les renforcements structuraux. Elles consistent à augmenter la section résistante d'une structure par ajout de béton ou d'acier, voire, plus simplement, à reconstituer la section résistante endommagée. Mais, pour qu'il y ait renforcement, il faut que la partie ajoutée participe effectivement à la reprise des efforts.

Les trois techniques classiques d'ajout de matière sont:

- L'ajout d'armatures passives;
- L'ajout de béton;
- Les tôles collées (parfois collées et boulonnées).

VI.3.2. Pour les ponts en béton précontraint:

La réparation ou le renforcement d'un pont en béton précontraint fait appel le plus souvent à l'adjonction de forces, plus rarement à l'ajout ou à la régénération de matière.

Les méthodes de renforcement ou de réparation sont donc principalement basées sur l'adjonction de forces, pouvant être obtenue par :

Précontrainte additionnelle:

Cette technique consiste à mettre en œuvre une précontrainte (câbles, barres ou mono torons) dans un ouvrage pour en améliorer la résistance d'ensemble vis-à-vis de la flexion et/ou de l'effort tranchant.

Dénivellations d'appuis (vérinage):

Le vérinage d'une structure dans le but de créer une dénivellation des appuis permet d'introduire dans la structure des sollicitations favorables à la résistance de celle-ci (recompression de fissures injectées ou non, réglage des réactions d'appui, etc.) ou de rattraper le profil en long d'un ouvrage présentant d'importantes déformations.

Remplacement de la précontrainte ;

VI.3.3. Description des principales méthodes de réparation ou de renforcement des ponts en béton

VI.3.3.1. Traitements de surface [22]

Les principaux traitements de surface sont les ragréages et l'injection des fissures.

VI.3.3.1.1. Ragréages

Avant de procéder à un ragréage, il est nécessaire de préparer avec soin les surfaces à traiter afin de créer un support sain, propre, rugueux, de nature à favoriser une bonne adhérence au niveau de la surface de reprise. Les techniques les plus courantes sont l'hydrodé-molition, le décapage au marteau pneumatique ou, dans les cas extrêmes, au brise-béton, le bouchardage, le burinage et le piquage au petit marteau pneumatique. Elles sont toutes traumatisantes pour le support à des degrés divers et doivent donc être sélectionnées avec soin en fonction des objectifs recherchés.

Pour un décapage en surface, le sablage (à sec ou humide) ou la projection d'eau sous très haute pression sont des techniques qui permettent d'obtenir d'excellents supports. Le décapage thermique, le décapage chimique et le rabotage mécanique sont des techniques déconseillées en raison de leur brutalité.

En présence d'aciers apparents corrodés, il est indispensable de les décaper (par sablage ou grenailage), puis de leur conférer une nouvelle protection à l'aide de produits hydrauliques ou de résines organiques, voire de les remplacer dans les cas extrêmes. Il est essentiel de dégager les armatures non seulement sur leur face apparente mais sur tout leur pourtour de façon à éliminer toute la partie dépassivée du béton.

Il existe sur le marché une grande quantité de produits de ragréage qui peuvent être classés en trois catégories principales :

- Les produits à base de liants hydrauliques;
- Les produits à base de résines de synthèse;
- Les produits mixtes.

VI.3.3.1.2. Injection des fissures

Selon l'origine des contraintes de traction qui les ont provoquées, les fissures offrent un faciès et un tracé typiques. Très souvent, notamment dans le cas de la flexion, la fissuration comporte des fissures principales nettes et rectilignes sur lesquelles se greffent de nombreuses ramifications. De telles ramifications peuvent exister aussi au voisinage des armatures proches de la fissure principale : elles sont dues à l'effet d'entraînement des aciers dans la zone perturbée.

Les fissures sont caractérisées par :

- Leur âge, qui peut conditionner leur injectabilité ;
- Leur tracé, souvent révélateur de leur origine ;
- Leur ouverture, mesurable à l'aide d'appareils spécialisés (fissuromètre, compte-fils, jauges d'épaisseur)
- Leur profondeur, permettant de distinguer les fissures traversantes, aveugles ou de surface ;
- Leur activité et/ou leur évolution, permettant de distinguer les fissures inertes des fissures actives dont l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs tels que température, charges, vibrations, hygrométrie etc. La variation de cette ouverture définit le souffle de la fissure.

L'injection des fissures précède généralement un autre système de réparation. Il peut s'agir de simplement les colmater pour empêcher la pénétration de tout corps étranger et, en particulier, de l'eau, ou d'introduire un matériau en complément d'un ajout de forces par précontrainte pour rétablir le monolithisme de la structure.

VI.3.3.1.2.1. Les deux grandes catégories de traitements :

Les traitements de surface

Les traitements de surface sont des traitements qui permettent essentiellement d'assurer ou de rétablir l'étanchéité de la surface d'une structure et d'éviter ou de stopper la corrosion des armatures. Dans les zones soumises au gel, ce

type de traitement peut en atténuer très efficacement les effets destructeurs. On peut citer :

le calfeutrement, qui consiste à obturer la fissure par application d'un produit déposé dans une engravure façonnée le long de son tracé avec une ouverture de l'ordre des deux tiers de sa profondeur ;

le pontage, qui rend hermétique l'ouverture de la fissure par application superficielle d'un film généralement armé et adhérent (épaisseur 3 mm) de part et d'autre des lèvres de la fracture. Le pontage s'insère le plus souvent dans un complexe de revêtement général;

l'imprégnation, qui permet d'étancher une surface présentant un réseau important et diffus de microfissures. Le produit est passé sur la surface concernée, à la brosse ou au rouleau. Il adhère à la surface et, en général, pénètre sur quelques millimètres dans les microfissures.

Le traitement dans la masse

Le traitement dans la masse consiste à injecter en profondeur un produit liquide qui, après durcissement, a des caractéristiques mécaniques voisines de celles du matériau environnant.

L'injection se fait par cheminement du produit liquide dans la fissure, de l'extérieur vers l'intérieur, après obturation de la partie visible de la fissure.

VI.3.3.1.2.2. Les produits pour injection

Deux grandes familles de produits existent, utilisables en traitement de surface comme en traitement dans la masse selon leur origine (minérale ou organique).

VI.3.3.1.2.2.1. Les produits minéraux:

Sont des produits compatibles avec les milieux humides. Pendant la mise en œuvre sur le site, ils se présentent sous forme de solution ou de suspension aqueuse. Il s'agit principalement de coulis à base de ciments spéciaux.

VI.3.3.1.2.2.2. Les produits organiques:

Sont des produits synthétiques à macromolécules formant une chaîne réticulaire : ce sont principalement des résines époxydiques, systèmes bicomposants thermodurcissables, modifiables par des charges inertes.

VI.3.3.2. Protection du béton et des armatures

VI.3.3.2.1. Techniques de protection du béton

Lorsque l'enrobage des aciers est trop poreux ou d'épaisseur insuffisante, ou lorsque l'environnement est particulièrement agressif, il est souvent nécessaire d'appliquer un traitement de protection du béton. Une telle protection peut aussi être appliquée à un mortier fraîchement déposé, vis-à-vis des agressions atmosphériques, des fondants, de l'eau de mer, des attaques chimiques ou bactériologiques ou, tout simplement, vis-à-vis de la pénétration de l'eau, afin d'assurer une plus grande durabilité de la réparation. On distingue :

- ▶ Les hydrofuges de surface;
- ▶ Les minéralisateurs;
- ▶ Les peintures;
- ▶ Les revêtements minces à base de liant hydraulique modifié ou à base de polymère;
- ▶ Les revêtements plastiques épais.

VI.3.3.2.1.1. Hydrofuges de surface

Les hydrofuges de surface, encore appelés produits d'imprégnation, sont destinés à rendre la surface du béton imperméable à l'eau tout en assurant une perméabilité à la vapeur d'eau.

VI.3.3.2.1.2. Minéralisateurs

Ce sont des produits d'imprégnation qui pénètrent dans les pores et créent une sorte de "minéralisation du support". Les plus couramment utilisés sont les silicates alcalins qui sont parfois associés à des molécules organiques.

VI.3.3.2.1.3. Peintures

Les principales familles de peintures utilisées en génie civil sont :

- Les copolymères acryliques ou vinyliques en émulsion aqueuse ;
- Les copolymères acryliques en phase solvant ;
- Les résines époxydiques ;
- Les résines polyuréthanes;
- Les ciments-latex bicomposants.

Même si elles assurent une légère protection, les peintures ont essentiellement un rôle esthétique. Les peintures à base de résines thermodurcissables (époxydiques,

polyuréthanes) présentent en général de meilleures performances que les peintures à base de résines thermoplastiques (acryliques et vinyliques).

VI.3.3.2.1.4. Revêtements minces à base de liant hydraulique modifié ou à base de polymère

Les revêtements minces à base de liant hydraulique modifié sont des produits bicomposants constitués d'un ciment additionné de charges minérales et d'une résine miscible souple (par exemple latex styrène-butadiène). Ils sont appliqués en une ou deux couches sur des épaisseurs totales de 1 à 3 mm. Les revêtements minces à base de polymère sont constitués de plusieurs couches de résines dont l'épaisseur totale est comprise entre 0,5 et 2 mm.

Ces revêtements minces constituent la meilleure protection contre les agressions extérieures.

VI.3.3.2.1.5. Revêtements plastiques épais

Les revêtements plastiques épais ont la même composition que les peintures classiques, mais comportent en plus des charges dont la granulométrie atteint le millimètre. Le liant est souvent une résine acrylique en émulsion, Jusqu'à présent, leur intérêt n'a pas été prouvé dans le domaine de la protection des ponts.

VI.3.3.2.2. Protection cathodique des armatures

La protection cathodique est une technique permettant de stopper un processus de corrosion. Elle doit être appliquée avant que les risques d'ordre mécanique soient importants. Couramment utilisée pour protéger les matériaux métalliques immergés ou enterrés. [22]

VI.3.3.3. Ajout de forces ou de déformations

VI.3.3.3.1. Généralités

La précontrainte permet d'appliquer des efforts d'une intensité connue, en des points et suivant des directions bien définis, capables de s'opposer aux efforts générateurs des désordres. Elle est qualifiée d'additionnelle lorsqu'on l'applique à des ouvrages existants pour augmenter leur capacité portante ou prolonger leur durée d'exploitation.

La précontrainte additionnelle est, en général, extérieure. Ce n'est que pour des précontraintes très courtes (étriers actifs) ou pour des précontraintes prévues dès le projet pour être mises en place dans des réservations spécifiques que la

précontrainte additionnelle peut être placée à l'intérieur même du béton. En règle générale, son application suppose un traitement préalable des fissures par injection car elle ne peut, à elle seule, refermer les fissures.

Il est rare que l'on cherche à modifier le schéma statique initial théorique d'un pont en le renforçant ou en le réparant. Cela s'est rencontré dans le cas de tabliers à travées indépendantes, qui ont été rendus continus en supprimant les joints de dilatation (continuité géométrique) et en appliquant une précontrainte additionnelle sur toute leur longueur (continuité mécanique).

Dans tous les cas, la précontrainte additionnelle doit être démontable pour pouvoir être facilement remplacée en cas de défaillance.

VI.3.3.3.2. Renforcement des ouvrages en flexion

La plupart des renforcements par précontrainte de tabliers de ponts visent à augmenter leur résistance en flexion. Le tracé des armatures de précontrainte additionnelles peut être rectiligne ou polygonal. Un câblage rectiligne est facile à mettre en œuvre et les pertes d'effort par frottement sont localisées au voisinage des zones d'ancrage (donc très faibles). Il n'est véritablement efficace que dans le cas d'un tablier de hauteur variable puisqu'il bénéficie de l'effet d'arc dû à la courbure de la fibre moyenne. Il est nettement moins efficace dans un tablier de hauteur constante lorsqu'il s'agit de renforcer la résistance en flexion à la fois sur appuis et en travée.

Un tracé polygonal permet de mieux optimiser l'efficacité de la précontrainte tant vis-à-vis de la flexion que vis-à-vis de l'effort tranchant. Les pertes par frottement restent modérées.

VI.3.3.3.3. Renforcement des ouvrages vis-à-vis de l'effort tranchant

Comme on l'a dit précédemment, un câblage au tracé polygonal permet souvent de traiter simultanément les insuffisances de résistance à la flexion et à l'effort tranchant d'un tablier de pont : en jouant, dans une certaine mesure, sur l'inclinaison des câbles au voisinage des appuis intermédiaires, et donc sur l'emplacement des points de déviation, il est souvent possible d'optimiser le tracé des câbles de précontrainte. En général, les angles de déviation sont de l'ordre de 10° à 15° .

Lorsque le problème majeur est celui de la résistance à l'effort tranchant, et si l'inclinaison de câbles de précontrainte additionnelle n'est pas possible ou suffisante

pour le traiter, on recourt à l'emploi d'étriers actifs, généralement verticaux et constitués de fils, de barres ou de monotorons.

VI.3.3.3.4. Exemples de traitement d'autres types de défauts

- Dans le cas des fissures d'entraînement, apparaissant à l'arrière d'ancrages de câbles dans des hourdis minces et insuffisamment ferrailles, le traitement peut être soit de type passif par collage d'armatures de renfort, soit de type actif par un renforcement par précontrainte longitudinale.
- Les poussées au vide dues à la courbure des câbles de précontrainte peuvent donner lieu à des désordres plus ou moins locaux. Les désordres locaux sont généralement dus à un tracé de câble maladroit (souvent gauche dans l'espace) dans une zone de faible enrobage. À la mise en tension, l'armature tend à prendre un tracé rectiligne et fait localement éclater le béton. La réparation d'un tel désordre consiste simplement, après remise en place correcte de l'armature, à bétonner une surépaisseur locale de béton renforcée par un ferrailage d'acier doux. En général, il n'est pas nécessaire de détendre le câble sauf si la zone touchée est trop importante. Les désordres « semi-locaux » sont souvent dus à des erreurs de conception et concernent principalement le hourdis inférieur de poutres-caissons de hauteur variable dans lequel ont été placés des câbles longitudinaux.

VI.3.3.3.5. Protection de la précontrainte additionnelle

Les armatures de précontrainte les plus utilisées sont les torons pour le renfort longitudinal et les barres pour le serrage et les étriers. Dans certains cas, lorsque les efforts à appliquer et la longueur des éléments sont faibles, il peut être intéressant d'utiliser des boulons à serrage contrôlé. Certains projets peuvent spécifier l'emploi d'armatures inoxydables ou galvanisées, ou même des armatures revêtues en usine d'une protection par résine époxydique.

L'injection des câbles au coulis de ciment est utilisée pour la précontrainte extérieure, qu'elle soit disposée en précontrainte initiale ou en précontrainte de réparation. Les câbles étant en général de grande longueur, il est préférable d'injecter des coulis du type retardé, qui permettent de combler des volumes importants sans redouter un épaissement prématuré du coulis par début de prise du ciment. Pour permettre le démontage ultérieur de câbles injectés au coulis, il convient de prévoir un double gainage dans les zones de déviation.

VI.3.3.4. Ajout de matière

VI.3.3.4.1. Béton projeté [22] [23]

La mise en place du béton par projection permet l'application rapide du béton sur des surfaces verticales ou horizontales sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des coffrages. Le béton projeté est de plus en plus utilisé pour réparer des surfaces de béton endommagées par des problèmes de corrosion.

VI.3.3.4.1.1. Les principaux problèmes qui peuvent survenir

- Mauvaise adhérence avec le substrat;
- Mauvais remplissage derrière les barres d'armature;
- Ségrégation, poches de sable ou piégeage des rebonds.

VI.3.3.4.1.2. Les caractéristiques du béton projeté

- Le rapport E/C des bétons mis en place par projection est généralement compris entre 0,35 et 0,50 et les résistances à la compression sont généralement comprises entre 30 MPa et 40MPa.
- Un béton projeté de bonne qualité possède une bonne adhérence avec l'ancien béton, jhc bonne résistance à la compression et offre une bonne protection (faible perméabilité) contre la corrosion des aciers d'armature.
- On utilise généralement des gros granulats de faible diamètre (1 cm).
- On peut améliorer de nombreuses propriétés du béton projeté (durabilité, adhérence, réduction de la quantité de rebond) en utilisant des adjuvants, des ajouts minéraux ou des fibres.
- Accélérateur de prise (pour accélérer le taux de mise en place. Peut réduire la résistance à long terme).
- Pour obtenir des performances adéquates, il est essentiel d'effectuer une bonne préparation de la surface en effectuant les opérations suivantes :
 - Enlever tout le béton détérioré.
 - Prévoir une profondeur d'au moins 2,5 cm.
 - Dégager les aciers d'armature d'au moins 2,5 cm. [23]

VI.3.3.4.1.3. Les deux principaux types de projections:

Il existe deux techniques principales de projection du béton, dont la différence principale réside dans la chronologie des opérations élémentaires : la projection par voie sèche et la projection par voie mouillée.

VI.3.3.4.1.3.1. Projection par voie sèche (avec ou sans prémouillage)

Avec cette technique, le mélange des constituants (à l'exception de l'eau) est introduit dans la machine à projeter, puis propulsé dans une canalisation par un flux d'air comprimé. Dans la projection sans prémouillage, l'eau est introduite au droit de la lance de projection, tandis qu'avec prémouillage l'eau est ajoutée dans la conduite deux à trois mètres avant la lance, ce qui a pour effet de diminuer l'émission de poussières. [22]

Avantages

Les boyaux sont plus légers ;

On peut interrompre et redémarrer les travaux plus rapidement car il n'est pas nécessaire de vider les boyaux pendant les arrêts;

Pas besoin d'une usine à béton à proximité;

Permet de fabriquer des bétons avec des propriétés mécaniques plus élevées (E/C plus faible).

Inconvénients

Taux d'application plus faible;

Plus de pertes (jusqu'à 20%);

Plus de rebond, Plus de bruit et de poussière;

Béton plus hétérogène;

Contrôle du rapport E/C plus difficile.

VI.3.3.4.1.3.2. Projection par voie mouillée

Le mélange de tous les constituants du béton, y compris l'eau, est introduit dans la machine à projeter. Le transport est effectué dans une canalisation, soit par un flux d'air comprimé pour la voie mouillée à flux dilué, soit par pompage pour la voie mouillée à flux dense. Dans les deux cas, une injection d'air comprimé à la lance de projection est nécessaire pour accélérer la vitesse de projection. Le béton peut être fabriqué dans une centrale à béton de chantier ou une centrale de béton prêt à l'emploi. [22]

Avantages

Taux d'application plus élevé;

Moins de perte (5%);

Moins de rebond, Moins de poussière;

Meilleur contrôle du rapport E/C;

Meilleure homogénéité du béton en place.

Inconvénients

Les boyaux plus lourds;

Besoin d'une usine de béton à proximité;

Il y a toujours une certaine proportion de matériaux qui rebondissent lors de la projection.

Alors, il convient donc de choisir le mode de projection à utiliser suivant la nature des travaux à réaliser. Actuellement, l'emploi de la voie sèche est fortement recommandé pour la réparation des ouvrages d'art.

VI.3.3.4.1.4. Formulation du béton:

La plupart des adjuvants et additions utilisés dans la fabrication des bétons spéciaux mis en place par coulage peuvent être incorporés dans le béton projeté, par exemple :

Les bétons à base de ciment fondu ou de ciment prompt ;

Les bétons légers à base de granulats légers (argile ou schiste expansé) ;

Les bétons à base de fibres métalliques, de verre ou de polypropylène ;

Les bétons avec incorporation de fumée de silice.

Concernant le béton projeté utilisé en réparation ou renforcement d'ouvrages d'art, la dimension maximale des granulats se trouve être limitée par la nécessité de réaliser la mise en place du béton projeté en plusieurs passes d'épaisseur 5 à 7 cm, sans recours à l'emploi d'accélérateur de prise.

VI.3.3.4.1.5. Mise en œuvre du béton projeté:

Le processus de mise en place du béton est différent selon le type de voie utilisé.

VI.3.3.4.1.5.1. En voie sèche

Les divers éléments sortent de la lance avec une vitesse très élevée (de l'ordre de 100 m/s), et les gravillons qui arrivent avec une forte énergie sur le support rebondissent, alors que les grains de ciment et les gouttelettes d'eau forment un film de pâte pure qui adhère au support et qui accueille des grains de sable de plus en plus gros. La couche de mortier ainsi formée permet ensuite aux gravillons de s'insérer ; le rebond des gravillons diminue et la forte énergie cinétique des gravillons qui viennent frapper le béton en place assure son compactage et procure à ce matériau de meilleures performances mécaniques que celles du béton mis en œuvre par voie mouillée. Ce

mécanisme d'adhésion rend inutile toute interposition d'une résine d'accrochage. Selon cette méthode, il est possible de transporter le béton sur des distances importantes : plus de 500 m à l'horizontale, et plus de 100 m à la verticale.

La voie sèche, en raison d'une résistance élevée, d'une bonne adhérence au support et d'une faible fissuration du béton projeté mis en œuvre, est donc bien adaptée à la réparation du béton et aux renforcements structuraux de ponts en béton ou en maçonnerie.

VI.3.3.4.1.5.2. Pour la voie mouillée

Les rebonds de gravillons sont beaucoup plus faibles qu'en voie sèche, car ceux-ci arrivent sur le support en étant déjà enrobés par du liant, ce qui facilite leur accrochage. La projection d'un matériau mouillé évite la production de poussières qui constitue un inconvénient de la voie sèche. Dans le cas de la voie mouillée à flux dense, la vitesse de sortie du béton à la lance est relativement faible (de l'ordre de 1 m/s), et les caractéristiques mécaniques du matériau s'en trouvent diminuées par comparaison avec la voie sèche. La voie mouillée à flux dilué constitue une solution intermédiaire de mise en œuvre, qui fournit un béton projeté dont les caractéristiques mécaniques se rapprochent davantage de celles du béton projeté par voie sèche. La voie mouillée est donc employée préférentiellement dans le domaine des tunnels, de la projection sur terrain (talus, fouilles, berges...) et de la réparation des maçonneries (garnissage de vides, rejointoiements...).

VI.3.3.4.1.6. Précautions particulières : Certaines précautions sont nécessaires pour obtenir une réparation durable en béton projeté.

- La compétence de l'équipe de mise en place est essentielle (pré qualification, inspecteurs expérimentés);
- Le matériau doit être le plus homogène possible de manière à minimiser les rebonds (bon enrobage des granulats);
- Il est important de bien mûrir les surfaces réparées pendant au moins 7 jours.
- La profondeur de la zone à réparer doit être la plus constante possible. Les variations brusques de profondeur peuvent diminuer l'adhérence et favoriser les décollements.

VI.3.3.4.2. Renforcement par collage de tissus composites [22] [23]

Le procédé TFC est un procédé breveté de renforcement structurel par collage d'armatures additionnelles à base de fibres de carbone.

Le procédé est basé sur le principe d'un placage de matériau résistant aux efforts de traction et judicieusement collé sur les zones tendues de la pièce à renforcer pour en augmenter les performances de fonctionnement. Le procédé TFC a essentiellement un rôle de renforcement structurel aux efforts engendrés par les effets de flexion comme d'efforts tranchants.

VI.3.3.4.2.1. Propriétés des fibres de carbone

Les fibres de carbone sont obtenues par pyrolyse de fibres organiques réticulées et orientées en atmosphère contrôlée. Elles s'utilisent essentiellement sous la forme de matériaux composites pour conférer au produit fini le meilleur des propriétés physiques, statiques et dynamiques. Ces matériaux présentent une contrainte de rupture très élevée pour une densité cinq fois moindre que celle de l'acier.

Les composites issus de fibres de carbone bénéficient de caractéristiques sans équivalent et de propriétés physiques très étendues :

- Grande résistance et haut module d'élasticité en traction ;
- Grande résistance à la fatigue et à la déformation ;
- Grande résistance à l'usure ;
- Grande résistance à la corrosion ;
- Grande stabilité dimensionnelle ;
- Grande stabilité thermique (le carbone est pratiquement incombustible) ;
- Légèreté ;
- Absorption des vibrations ;
- Bonnes conductivités thermique et électrique ;
- Transparence aux rayons X.

VI.3.3.4.2.2. Propriétés du tissu de fibres de carbone

Le TFC, du type T700, est formé d'une chaîne et d'une trame dont les sections relatives peuvent être modulées à la demande de façon à présenter une résistance anisotrope. Il est livré en rouleaux de largeur standard, soit 150 et 300 mm, prêts à l'emploi. Sa souplesse lui permet de s'appliquer sans difficulté sur des surfaces

courbes telles que les colonnes cylindriques par exemple; moyennant un calepinage convenable, il peut même être utilisé sur des surfaces non développables.

D'un transport et d'une manutention faciles (il ne pèse que 800 g par mètre carré), le TFC peut être aisément découpé sur place à la forme désirée ; sa mise en œuvre n'exige qu'un échafaudage léger.

À l'inverse des tôles d'acier, le TFC ne nécessite aucune pression de contact pendant le durcissement de la résine. Sa faible épaisseur (0,8 mm) permet son entraînement en traction par la résine durcie sans flexion parasite notable.

VI.3.3.4.2.3. Propriétés de la résine de collage

L'un des avantages du procédé TFC réside aussi dans le fait que la résine est utilisée à double fin ; elle réalise à la fois l'imprégnation du tissu et son collage au support. Il en résulte, d'une part, une plus grande simplicité de mise en œuvre et, d'autre part, un fonctionnement mécanique amélioré, le renfort ne comportant qu'une seule surface de contact au lieu de deux dans le cas du collage d'une plaque rigide.

La résine peut être appliquée sur un support humide ; après mélange des deux composants, sa durée de prise et de durcissement est de quelques heures ; cette durée varie faiblement en fonction de la température. Pendant le durcissement de la résine, il n'est pas nécessaire de maintenir une pression de contact comme dans le cas des plaques rigides.

VI.3.3.4.2.4. Procédure de mise en œuvre du TFC

Dans le cas du béton, il convient d'effectuer un sablage à sec en vue d'obtenir un état de surface rugueux et uniforme en tous points avec des reliefs d'impact compris entre 0,5 et 1 mm ; les dépôts de poussières et les particules non adhérentes sont éliminés par un brossage énergique. Dans le cas de l'acier, de la même façon, il convient d'éliminer les parties oxydées non adhérentes et de dégraisser la surface. Dans le cas du bois, il est nécessaire de mettre à nu le matériau sain en éliminant par exemple les couches de peinture ou les parties contaminées après un incendie.

Une couche de résine XEP 2919 est d'abord appliquée au rouleau à poils ras de façon à atteindre un dépôt de 650 à 700 g/m². Le TFC, protégé par une feuille de polyéthylène, est ensuite appliqué. Si nécessaire, il est possible de juxtaposer plusieurs bandes bord à bord. Puis, une couche d'imprégnation de la même résine est mise en place à la spatule à raison de 700 g/m² environ. Si nécessaire, cette opération

peut être renouvelée pour une deuxième couche de TFC. Enfin, une couche de fermeture, appliquée à la spatule, est constituée de la même résine additionnée d'une pâte colorante assortie au support.



Fig VI.1- Photos montrent le renforcement par le TFC



Fig VI.2- Renforcement d'un pont par le TFC (E.T et M.F)

VI.3.3.4.3. Renforcement des structures à l'aide de plats métalliques collés

La technique des tôles collées a permis soit d'accroître la capacité portante d'un ouvrage, soit de renforcer localement une structure présentant des insuffisances de résistance. Elle est applicable aux structures en béton armé et aux zones fonctionnant en béton armé des structures précontraintes. Diverses conditions doivent être réunies pour la bonne réussite d'une opération de renforcement ou de réparation.

La surface du béton doit subir, avant tout, une préparation soignée (burinage, bouchardage) ayant pour but d'éliminer toutes les parties peu adhérentes et de supprimer les imperfections locales afin de la rendre la plus plane possible.

Le mortier de ragréage est destiné à pallier, dans certains endroits, le manque d'enrobage des armatures internes ou bien à reprofiler la surface qui n'aurait pu efficacement être traitée par les précédentes techniques, en limitant la surface à ragréer à 20 % de la surface de collage et en s'assurant qu'il n'y a aucune zone ragrée en extrémité de tôles.

L'acier de renfort est constitué, dans la plupart des cas, de tôles en acier E24-2. Dans le cas où il est nécessaire de souder les tôles, on utilise de l'acier E 24-3. Ces tôles ont une épaisseur de 3 à 5 mm. Le choix d'un acier de nuance supérieure ou d'épaisseur plus importante est à déconseiller car il faut que l'acier se plastifie avant son décollement de façon à obtenir une structure ductile et non fragile.

La protection des aciers contre la corrosion sur leur face visible doit être assurée.

Le primaire d'accrochage est destiné à assurer une bonne adhérence entre la colle et le béton.

La colle est en général une résine époxydique choisie pour ses propriétés d'adhérence à l'acier et au béton. L'épaisseur minimale de colle est de l'ordre du millimètre.

Le dispositif de serrage peut, suivant les cas, être constitué de serre-joints, de barres filetées traversant l'élément ou scellées, d'étais ou de coins. Il doit permettre d'appliquer sur toute la tôle une pression voisine de 4 kPa durant toute la durée de polymérisation de la colle. Il convient de s'assurer préalablement que la structure peut reprendre les efforts de serrage sans dommage.

VI.3.3.4.4. Coulage ou injection de béton ou de mortier

Lorsque le volume de béton à reconstituer est assez important ou de forte épaisseur (au moins 5 à 10 cm), les techniques de ragréage et de béton projeté peuvent être inadaptées pour des raisons techniques ou économiques. Une technique alternative permet alors de reconstituer une partie de structure en béton dégradé : le coulage ou l'injection de béton, de mortier ou de coulis. Ce type de réparation est généralement durable, pourvu que la compatibilité chimique entre le nouveau ciment et le ciment en place ait été vérifiée. En raison des épaisseurs mises en œuvre, on ne rencontre pas les phénomènes de gradient thermique de surface qui endommagent parfois la surface de reprise et provoquent le décollement des ragréages. En plus, les épaisseurs mises en œuvre permettent d'armer le béton rapporté et de le connecter à son support.

VI.3.3.4.5. Ajout d'armatures

Cette technique consiste, après repiquage du béton existant (et éventuellement élimination du béton dégradé), à disposer des aciers passifs et à les solidariser à la structure par du béton projeté ou du béton coulé en place. Ces aciers sont reliés à la structure à l'aide d'aciers de couture dimensionnés par application de la "règle des coutures", en assimilant l'interface entre le nouveau béton et la structure à une reprise de bétonnage.

VI.4. Techniques de réparation des ponts métalliques :

- Remplacement d'éléments endommagés (un tablier existant par un tablier neuf, des longerons par plaques métalliques...etc.)
- Renforcement des longerons.
- Ajout de matière
- Utilisation de la soudure, des boulons HR, et des rivets

Ces modes d'assemblage fonctionnent selon des principes très différents:

- La soudure reconstitue, en principe, la continuité de la matière
 - Les boulons transmettent les efforts par frottement
 - Les rivets fonctionnent par cisaillement
- Dispositions à prendre pour éviter ou limiter la corrosion (empêcher l'eau de venir au contact de l'acier, favoriser l'évacuation de l'eau et de l'humidité, entretenir les ouvrages régulièrement...etc.)

Chapitre VII :

Recommandations

Recommandations

Pour ne pas attendre les désordres constatés, il est recommandé de suivre les prescriptions suivantes, classées par élément de structure:

VII. 1. La structure du pont

VII.1.1.Le tablier

- Pour éviter tout décollement ou translation du tablier dans le sens longitudinal, il faut que Le tablier ait suffisamment de surface d'appui aux extrémités longitudinales ;
- Pour empêcher tout déplacement latéral des poutres ou du tablier, il est recommandé de mettre en place des socles en béton entre les poutres.

VII.1.2.Fondations et appuis

- Dimensionnement des appuis et des fondations:
 - La bonne estimation des descentes de charges;
 - La connaissance de la nature géologique du site d'implantation des appuis.

VII.1.2.1.Fondation

- Prendre toutes les données et les contraintes dans le calcul des fondations et faire attention surtout aux sollicitations de l'eau et du séisme;
- On protège en général une fondation contre l'affouillement au moyen des massifs d'enrochements autour d'appuis ou de gabions (ou parfois de palplanches). les cavités anormales dans les maçonneries sont à remplir de béton;
- Il vaut mieux toujours prévenir que guérir. En conséquence:
 - Vis-à-vis des affouillements: on contrôlera périodiquement et après toute crue importante la position et l'état des enrochements et des gabions, de façon à les entretenir avant qu'il ne soit trop tard;
 - Vis-à-vis des excavations: on les bouchera dès qu'elles sont décelées, avant qu'elles ne s'aggravent.

VII.1.2.2.Appuis

- Pour éviter les chocs des véhicules, les appuis doivent être protégé ;
- Une bonne continuité de différentes phases de coulage de béton ;
- Le bon calcul des armatures transversales ;

- Protection des armatures de béton armé dénudées, lorsqu'il s'agit de désordres localisés ;
- Pour éviter le décollement de l'enduit de surfacage et les altérations des matériaux constitutifs de l'appui, il faut qu'il y ait un bon réglage du joint de chaussée et la bonne qualité de l'étanchéité pour empêcher l'infiltration de l'eau ;
- Nettoyage des sommiers d'appui, de l'intérieur du tablier.

VII. 2. Les équipements

- Nettoyage et entretien des équipements de l'ouvrage (joints de chaussée, joints de trottoirs, éclairage, dalles de trottoirs) ;

VII.2.1. Appareils d'appui

- Les appareils d'appui en élastomère, d'emploi très généralisé,
 - Doivent être propres et convenablement dimensionnés;
 - On mesurera périodiquement les distorsions tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal;
 - Ces appareils d'appui étant souvent peu accessibles (un périscope peut être utile pour les voir), les mesures pourraient n'avoir lieu que lors des inspections détaillées.
- Il faut éviter que les appareils d'appui soient disposés trop près des parements, car la concentration des charges peut entraîner des désordres dans le sommier. Ces désordres se traduisent par un éclatement superficiel.

VII.2.2. Système d'évacuation des eaux

Il faut prendre en considération plusieurs points dès le début de la conception:

- La facilité d'accès (pour le nettoyage) ;
- Dimensionnement suffisant ;
- Tracé et profil bien étudiés ;
- Bon joint de chaussée ;
- Le contrôle périodique du système d'évacuation ;
- Pour éviter la stagnation des eaux sur l'ouvrage ;
 - Il faut veiller au bon fonctionnement du système d'évacuation des eaux;
 - On veillera à nettoyer et déboucher les barbacanes et les gargouilles, et à modifier celles qui sont de diamètre insuffisant ou mal placées (non situées

aux points bas exacts, ou bien provoquant des écoulements d'eaux sur les parements d'appuis ou de tablier).

- Mise en place locale de protection des parements contre les venues d'eau ou l'humidité lorsqu'il s'agit de désordres localisés ;
- Maintien en bon état de fonctionnement des dispositifs d'écoulement des eaux (caniveaux, gargouilles, corniches-caniveaux, regards de visite..).

VII.2.3. Joint de chaussée

- Pour éviter le blocage des joints, il faut:
 - Un bon choix de joint de chaussée ;
 - Un nettoyage du joint de chaussée (de la matière extérieur) ;
 - Maintien des appareils d'appuis en état de fonctionnement ;
- Pour éviter les ouvertures excessives ou insuffisantes
 - Il faut choisir un bon modèle de joint ;
 - Le réglage à la pose avec estimation du retrait et du fluage ;
 - Prise en compte des conditions de température à la pose.
- On surveillera soigneusement leur fixation et leur fonctionnement.

VII.2.4. L'étanchéité

- On n'ignore pas une couche d'étanchéité ;
- Une bonne conception et exécution ;
- Assurer la bonne continuité des raccordements ;
- Une haute qualité des matériaux utilisés ;
- La qualité suffisante des chapes minces ;
- L'adhérence avec le support

VII.2.5. Les abords de l'ouvrage

- Enlèvement de la végétation sur les parties accessibles de l'ouvrage ;
- Maintien d'un accès à la partie inférieure de l'ouvrage à partir de la chaussée.

VII.2.6. Dispositif de retenue

Pour éviter les risques de chocs de véhicules, il faut poser des dispositifs de retenue à une distance suffisante pour qu'un débattement soit possible

- Le dispositif de retenue pour les véhicules légers est la glissière de sécurité ;
- Le dispositif de retenue pour les véhicules de masse > 3.5 t est la barrière.

VII. 3. Quelques spécificités :

VIII.3.1. Ponts en maçonnerie

- Il faut faire attention au choix des matériaux
 - Résistance de la roche mère ;
 - La porosité ;
 - La sensibilité au gel.
- Elimination régulière des corps flottants accumulés près des appuis car, ils constituent un obstacle à l'amont des ouvrages, et sont générateurs d'affouillement.

VIII.3.2. Ponts en béton précontraint

- Utilisation de ciments à haute résistance ;
- Prendre en considération à conception de la structure la poussée au vide des armatures de précontrainte ;

Pour éviter les fissures traduisant une insuffisante de résistance des poutres principales vis-à-vis de la flexion:

- Vis-à-vis de la force de précontrainte, un certain nombre de recommandations, soit au niveau de la conception et des calculs, soit au niveau de l'exécution:
 - A la conception et des calculs
 - La bonne estimation de la précontrainte initiale par le bon choix du coefficient de frottement f et ϕ l'angle
 - Et aussi la bonne estimation des pertes par relaxation;
 - Le bon choix du tracé des armatures de précontrainte pour éviter que l'excentricité de la précontrainte varie brutalement.
 - A l'exécution
 - Vérifier qu'il n'y a pas un déplacement durant le bétonnage des conduits mal fixés car ce déplacement va modifier l'excentricité de la précontrainte et en outre augmenter les pertes par frottement
 - Vérification qu'il n'y a pas des ruptures de fils ou de torons au moment de la mise en tension
- Vis-à-vis de lades charges permanentes
 - La bonne estimation des poids des équipements et des charges permanentes non structurelles

- Faire attention au déplacement accidentel des coffrages avant la prise du béton ou le non-respect du plan de coffrage qui va augmenter l'épaisseur, et donc de la charge permanente
- La bonne estimation de la masse volumique du béton (y compris le ferrailage et le câblage)

Pour éviter les fissures traduisant une insuffisante de résistance des poutres principales vis-à-vis de l'effort tranchant:

Il faut qu'il y ait:

- Une suffisante de la précontrainte verticale
- Une bonne répartition des efforts tranchants dans les âmes

VIII.3.3.Ponts métalliques

- Les principaux moyens de protection contre la corrosion utilisés dans les ouvrages métalliques sont:
 - La protection traditionnelle par la peinture ;
 - Les revêtements appliqués en usines sidérurgiques ou dans des ateliers spécialisés ;
 - Le choix des nuances d'acier résistant à la corrosion (aciers inoxydables, aciers à résistance améliorée à la corrosion).
- L'entretien courant:
 - On ne laisse pas l'accumulation des dépôts de terres et des débris (favorisent la rétention de l'eau) ;
- Pour les assemblages par boulons à serrage contrôlé:
 - Il faut bien prendre en compte du l'effet de du glissement des pièces entre elles;
 - Le serrage doit être suffisant.

VII. 4.Les conditions d'utilisation des coffrages:

VII.4.1.Coffrage

- Les coffrages doivent être étanche;
- Les coffrages doivent répondre aux profils, alignements et dimensions de l'ouvrage qui sont indiqués dans les dessins
- Les coffrages doivent être solides, rigides et indéformables ;

- ▼ Les coffrages doivent être disposés, attachés et étayés de manière à ne pas bouger ni plier au cours de la mise en place et du serrage du béton ;
- ▼ Avant la mise en place du béton, les coffrages doivent être débarrassés des poussières ou des débris qui s'y seraient accumulés et leurs parois intérieures enduites d'une huile spéciale examinée par l'ingénieur ;
- ▼ La conception des coffrages doit être fait par un ingénieur professionnel reconnu, expérimenté dans ce genre de conception.

VII.4.2. Décoffrage

- ▼ On ne doit pas enlever les coffrages ni leurs appuis tels que les étais avant d'avoir obtenu l'autorisation de l'ingénieur ;
- ▼ On ne doit pas enlever les coffrages ni leurs appuis avant que n'ait pris fin le délai minimal indiqué ci-dessous, et uniquement sur autorisation expresse de l'ingénieur.
 - On ne doit pas enlever les coffrages de fond ni leurs appuis avant 7 jours
 - On ne doit pas enlever les coffrages latéraux ni leurs appuis avant 48 heures

VII.4.3. Serrages

- ▼ Le béton doit être uniformément serré par vibration mécanique interne dans toute la masse, au moyen de vibreurs.
- ▼ Les vibrations doivent être utilisés systématiquement, en des endroits suffisamment rapprochés pour que leurs zones d'influence chevauchent.

Chapitre VIII :

Conclusion

Conclusion

L'étude que nous avons réalisée nous a permis d'identifier un certains nombres de phénomènes liés à la pathologie des ponts.

En effet, il nous a été donné de déterminer les types de dégradations que peuvent subir les ponts, mais aussi les causes et les facteurs inducteurs de ces dégradations.

Nous avons, par la suite, diagnostiqué ces causes et ces facteurs pour aboutir à une expertise qui nous a amené à proposer différentes méthodes de réparation selon le type de pont du point de vue structurel et matériau utilisé.

Enfin nous nous sommes proposés de faire quelques recommandations afin d'éviter, à l'avenir, ce genre de dégradations.

Ceci étant, il est clair que la liste des recommandations que nous avons formulée n'est pas définitive et donc susceptible d'être plus développée.

Références

Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01]- Réunion d'ingénieurs « Cours de ponts », 2ème édition, Paris, 1977, LCTP
- [02]- G. GRATTESAT « Conception des ponts », cours de l'école nationale des ponts et chaussées, ENPC Paris, 1984
- [03]- J. A. CALGARO et A. BERNARD-GELY « Techniques d'Ingénieurs - conception des ponts - », C4 500
- [04]- LCPC, SETRA « Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art -Équipements des ouvrages, fascicule 21- », Paris
- [05]- ATTAB. « Banque de données des ouvrages d'art» Ministère des travaux publics -Direction de l'exploitation et de l'entretien routiers-, juillet 2002
- [06]- J. A. CALGARO et R. LACROIX « Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1997
- [07]- J. A. CALGARO et R. LACROIX «Techniques d'Ingénieurs - Pathologie et évaluation des ponts existants- », C4 502
- [08]- SETRA « Guide du projeteur ouvrages d'art -Ponts courants-»,1999
- [09]- D. CHERID « Cours de ponts », l'école nationale polytechnique, ENP Alger, 2004
- [10]- SETRA « Pont métallique et mixte -Résistance à la fatigue- »,1996
- [11]- D. DAVI, P. SCHMITT « Annales du bâtiment et des travaux publics : Structure » n° 5-6,
OU SETRA « Bulletin d'ouvrage d'art », n°43,2003
- [12]- LCPC, SETRA «Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art- Ponts en béton non armée et en béton armé, fascicule 31-»
- [13]- F. OUALI « Étude statique et pathologique des ouvrages d'art », mémoire de projet de fin d'étude, Université de Blida, Institut de Génie Civil, 2002/2003
- [14]- CTPP, direction de l'exploitation et de l'entretien routiers « Catalogue des dégradations des ouvrages d'art », décembre 1996

- [15]- S. M. JOHNSON « Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du Génie Civil », (Traduction française de M. LONDEZ), Paris, 1969
- [16]- LCPC, SETRA «Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art- Ponts et viaducs en maçonnerie, fascicule 30- »
- [17]- LCPC « Défauts apparents des ouvrages d'art en béton », Paris, 1975
- [18]- LCPC, SETRA «Défauts apparents des ouvrages d'art métalliques»,1981
- [19]- S.DJENDER «Expertise et renforcement des ouvrages en béton armé»dirigé par Mme BAUCHE, ENP, soutenu en juin 2002
- [20]- ENTP « Pathologie, Auscultation, Réparation et entretien des ponts et tunnels » Séminaire, 1995
- [21]- CTTT, direction de l'exploitation et de l'entretien routiers « Guide de la surveillance des ouvrage d'art », décembre 1996
- [22]- J. A. CALGARO et R. LACROIX «Techniques d'Ingénieurs -Projet de renforcement ou de réparation d'un pont», C4 503
- [23]- R. HAFED, R. LARDJANE « Renforcement d'une poutre de pont par tôle collée » mémoire de projet de fin d'étude, École nationale des travaux publics, 2002/2003

Sigles:

CTTP : Organisme Nationale de Contrôle Technique des travaux Publics

ENP : École Nationale Polytechnique d'Alger

ENTP : Ecole nationale des travaux publics

LCTP : Laboratoire Centrale des travaux publiques

LCPC : Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées de Paris

SETRA : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

LEXIQUE DE

TERMES TECHNIQUES

LEXIQUE DE TERMES TECHNIQUES

Affouillement général :

Mise en suspension des matériaux meubles constituant le fond du lit d'un cours d'eau se traduisant par un creusement du lit.

Affouillement local:

Fosse creusée par l'eau à la base d'un obstacle situé dans un cours d'eau et résultant de l'accélération locale du courant.

Ame:

Partie verticale ou légèrement inclinée d'une poutre ou d'un caisson, de faible épaisseur par rapport à la hauteur de la pièce.

Appareil d'appui:

Dispositif transmettant aux appuis les sollicitations provenant du tablier.

Appui:

Partie d'ouvrage transmettant à la fondation les sollicitations provenant du tablier : pile, culée ou pile-culée.

Armature:

Élément en acier d'un ouvrage en béton armé ou précontraint participant à la résistance du béton : armature passive pour béton armé, armature de précontrainte ou armature active pour béton précontraint.

Articulation:

Dispositif de liaison entre parties d'ouvrage, transmettant des forces mais pas de couple, et permettant une rotation.

Barbacane:

Ouverture pratiquée dans un mur, une dalle, une voûte, pour permettre l'écoulement des eaux.

Barrière de sécurité:

Dispositif dont le rôle principal est de maintenir sur la plate-forme un véhicule en perdition.

Bec:

Partie profilée d'une pile en rivière ; côté amont : avant-bec ; côté aval : arrière-bec.

Buse:

Ouvrage hydraulique ou routier en béton armé ou en acier, de forme cylindrique, ovale ou en arc.

Caisson:

Poutre tubulaire formée d'âmes et de membrures supérieures et inférieures.

Caniveau:

Profil servant à l'écoulement des eaux (voir Fil d'eau) - Réservation sous trottoir pour le passage des canalisations.

Chape

- 1) couche de mortier ou de béton, armé ou non, rapportée et de faible épaisseur ;
- 2) revêtement d'étanchéité.

Chevêtre

Poutre horizontale reliant des pièces verticales et servant à leur transmettre des efforts verticaux.

Cintre

Ouvrage provisoire permettant de supporter des structures en phase de construction.

Clavage

Action consistant à solidariser deux parties d'ouvrage construites indépendamment.

Clef ou clé

Partie centrale d'un arc ou d'une voûte, ou section médiane d'une poutre.

Console et encorbellement

Partie d'une structure en porte-à-faux.

Corniche

Partie d'ouvrage en saillie le long de l'extrados d'un pont, destinée à éviter le ruissellement sur le parement et servant d'élément décoratif, dans laquelle peut être encastré le garde-corps.

Contre-Flèche

Profil donné à un coffrage en vue de compenser les flèches dues aux charges.

Culée

Appui d'extrémité d'un tablier, d'une voûte ou d'un arc assurant la double fonction de transmission des charges provenant du tablier et de soutien des terres.

Culée creuse

Type de culée permettant d'éviter la poussée des terres sur le mur de front.

Dalle de transition

Dalle en béton armé assurant la transition entre le remblai d'accès à l'ouvrage et le tablier. Elle est appuyée à une extrémité à l'arrière du mur garde-grève sur un corbeau d'appui et à l'autre extrémité sur le remblai.

Dispositif de retenue

Dispositif destiné à éviter la chute d'un usager depuis un ouvrage. On distingue les garde-corps, destinés à retenir des piétons, des barrières destinées à retenir des véhicules.

Elastomère

Caoutchouc synthétique obtenu par polymérisation, utilisé notamment dans les joints de chaussée et les appareils d'appui.

Encastrement:

Liaison entre deux éléments en général sensiblement perpendiculaires, ne permettant ni déplacement ni rotation d'un élément par rapport à l'autre.

Enrochement:

Blocs destinés à protéger la base d'ouvrages en mer ou en rivière.

Entretoise:

Dans une ossature à poutres ou à caissons, élément transversal rigide destiné à transmettre les charges aux poutres et à répartir et limiter les déformations de flexion et de torsion.

Etalement:

Dispositif provisoire destiné à supporter une structure tant qu'elle n'est ni stable, ni autoportante.

Etanchéité:

Système mettant le tablier à l'abri de l'eau provenant de l'extrados.

Extrados:

Surface supérieure d'un pont.

Flèche:

Abaissement d'une poutre sous l'effet des charges.

Fondation:

Partie de l'ouvrage assurant la liaison entre l'appui et le sol. On distingue les fondations superficielles (semelles et radier) des fondations profondes (pieux ou puits).

Fût:

Partie intermédiaire d'une pile, entre le sommier ou le chevêtre situé à la partie supérieure, et la fondation.

Gabarit:

Le gabarit caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté, dans les conditions normales de circulation, sous un ouvrage. Cette grandeur est associée au véhicule.

Garde-corps:

Dispositif de protection d'un passage pour piétons. On distingue les garde-corps pour piétons et les garde-corps de service.

Garde-grève:

Mur faisant partie de la culée et destiné à protéger les abouts des tabliers du contact des terres en les retenant, à tenir le joint de chaussée et à supporter la dalle de transition le cas échéant.

Gargouille:

Dispositif d'évacuation des eaux.

Gargouille Glissière de sécurité:

Ancienne dénomination de barrière de sécurité destinée à retenir des véhicules légers.

Hourdis:

Dalle en béton armé et/ou précontraint appuyée sur la totalité ou la quasi-totalité de son pourtour pouvant (hourdis supérieur) ou non (hourdis inférieur) être soumise à l'action de charges concentrées et mobiles importantes.

Intrados:

Surface inférieure d'un pont.

Joint de chaussée:

Dispositif placé entre la culée et le tablier, ou entre deux tronçons du tablier, pour permettre les déplacements relatifs, dus principalement aux variations de température, en assurant la continuité de la surface de la chaussée.

Longeron

Petite poutre secondaire parallèle aux poutres principales, appuyée sur une entretoise ou sur une pièce de pont.

Mur de front

Dans une culée, mur portant le tablier et soutenant les terres.

Mur de tête ou d'extrémité

Murs composant une culée et servant avec le mur de front à supporter les charges routières et les remblais.

Mur en aile

Mur de tête formant un angle compris entre 30 et 60 degrés avec l'axe de la voie franchie, voire parallèle à la voie franchie.

Mur en retour

Mur de tête sensiblement parallèle à l'axe de la voie portée.

Ossature

Partie résistante d'un ouvrage.

Ouverture

Distance libre entre les parements de deux appuis successifs (l'ouverture est distincte de la portée).

Pièce de pont:

Poutre transversale réunissant les poutres principales du tablier.

Pieu:

Élément allongé en bois, béton ou métal, destiné à transmettre des efforts au sol de fondation en profondeur.

Pile:

Appui intermédiaire.

Pile-culée:

- 1) palée enterrée sur toute sa hauteur, ou sur une grande partie de sa hauteur, servant d'appui d'extrémité ;
- 2) pile ayant à supporter une force très inclinée.

Portée:

Distance entre deux appareils d'appui successifs, ou entre les centres de gravité de deux sections d'encastrement successives.

Poutre:

Pièce allongée porteuse, formant avec d'autres l'ossature d'un ouvrage.

Poutrelle:

Petite poutre, poutre de fabrication industrielle, profilé.

Puits:

Élément de fondation profonde, exécuté en place, de gros diamètre.

Radier:

Fondation superficielle de grande surface.

Scellement:

Liaison définitive d'une pièce métallique dans une pièce de béton. Se dit également de barres d'acier scellées dans le sol ou dans une maçonnerie au moyen d'un mortier ou d'une résine.

Semelle:

- 1) Dalle de béton reportant au sol de fondation les efforts de la structure.
- 2) Plaque métallique constituant la membrure d'une poutre.

Table (de compression):

Partie supérieure, horizontale, d'une poutre en T.

Tablier:

Le tablier comprend la couverture et la partie de l'ossature sensiblement horizontale (poutre, caissons, arcs très surbaissés) située sous la voie portée.

Travée:

Partie d'un tablier entre deux appuis successifs.

Lexique des dégradations

Ponts en maçonnerie

Affouillement:

Rappelons que l'affouillement autour des piles de ponts consiste en un creusement du lit de la rivière que tend à en déchausser les fondations.

Affaissements:

Ces désordres, visibles à l'œil nu, se traduisent par des discontinuités géométriques soit alignement droit, soit en courbe.

Altération des joints:

C'est les circulations d'eau ou l'action des agents atmosphériques, en surface ou à travers les parements des maçonneries.

Altération du parement de pierres ou des briques:

Ces altérations prennent deux formes: des taches noires ou brunes, provenant de matières organiques contenues dans les ciments ou les pierres; des efflorescences blanches d'origine cristalline, actives ou amorphes, provenant de dépôts de sels qui se trouvent dans les pierres, les briques, les sables et liants mortiers ou dans le sol.

Basculement d'une culée:

C'est le basculement d'une culée vers l'avant ou vers l'arrière sous l'effet de la poussée de remblai.

Déversement des murs de tête:

Le mur de tête est avant tout un mur de soutènement soumis à la poussée du matériau de remplissage et à la poussée exercée par les charges d'exploitation de plus en plus agressives.

Dislocations:

Ces désordres, affectent surtout les structures porteuses en maçonnerie ancienne.

Fissures dans les voûtes:

Les fissures observées sont essentiellement des fissures longitudinales (de direction générale parallèle à l'axe de la voie portée) et fissures transversales (de direction générale perpendiculaire aux précédentes).

Ponts béton armé

Basculement :

Rotation de l'ouvrage, d'un mur ou d'un élément de travée.

Corrosion acier :

Désintégration des armatures par électrolyse ou attaque chimique.

S'observe sur les aciers dénudés, ou sur le béton d'après la couleur des efflorescences.

Corrosion béton :

Modification du béton, s'observe par des gonflements, pelade du béton, désagrégation des composants du béton (granulats, ciment, etc.).

Déformation-flèche permanente :

Déformation de tout ou partie d'ouvrage dépassant les estimations de la note de calcul (on désignera par ce défaut les déformations apparues après durcissement du béton).

Désintégration généralisée:

Destruction avancée du béton d'un élément de l'ouvrage.

Ecaillage :

Fine couche de mortier durci, décollée de la surface, et laissant à nu les agrégats.

Efflorescence :

Tache blanche en surface du béton, provenant de la carbonation.

Epaufrure :

Fragment détaché de la masse du béton.

Gonflement :

Augmentation de volume du béton qui s'accompagne de fissures, écaillage, désintégration.

Nids de cailloux :

Gravillons apparents avec vide et absence de fines entre les granulats.

Porosité :

Manque de compacité et d'homogénéité dans la masse du béton qui peut s'observer d'après l'aspect du parement et confirmé par de l'auscultation dynamique, de la gammagraphie ou un carottage.

"Poussierage" du béton :

Apparition de matériaux poreux à la surface du béton durci. Peut avoir pour conséquence une diminution de la résistance superficielle du béton

Ségrégation:

Variation dans la répartition des éléments du béton se traduisant par des concentrations différentes des composants du mélange.

Une ségrégation dans la masse de l'ouvrage conduit à un affaiblissement de sa résistance et une diminution de son étanchéité.

Stalactite :

Dépôt de calcite sous la forme d'aiguilles. Affecte les sous-faces des coupes, couvertures, dalles et poutres.

Suintement :

Présence d'humidité parfois chargée en sels après percolation à travers le béton. A bien distinguer du ruissellement normal à partir de barbacane et gargouille.

Tassement :

Déplacement vertical d'un appui ou de plusieurs appuis.

Tassement d'un ouvrage ou tassement différentiel d'une partie de la fondation

Les Fissures:

Fissure de désintégration :

L'ensemble de fissures courtes rapprochées, superficielles.

Fissure diagonale :

Fissure non parallèle aux axes principaux de l'ouvrage.

Fissures reproduisant le ferrailage :

Fissures reproduisant le quadrillage des armatures.

Fissure oblique :

Fissure non parallèle aux axes principaux de l'ouvrage.

Fissure longitudinale :

Fissure parallèle à l'axe longitudinal d'une pièce ou de l'ouvrage.

Fissure transversale:

Fissure dans un plan perpendiculaire à l'effort principal considéré.

Ponts en béton précontraint

Fissures de diffusion et d'entraînement :

Les fissures de diffusion, en arrêtes de poissons, se situent en avant des massifs d'ancrages, matérialisant les « bielles » de transmission des d'efforts de précontrainte.

Fissures d'effort tranchant :

Fissures situées au voisinage des appuis, inclinées à 45° affectant les âmes, elles se rencontrent généralement dans la zone comprise entre les appuis et la section 0.3L (L : portée de la travée considérée).

Fissure de flexion :

Située plus particulièrement en milieu de travée, perpendiculaire à l'axe de l'ouvrage, elle sont caractéristiques d'une insuffisance à la flexion.

Fissure le long des câbles de précontrainte :

Fissure qui suit tout ou partie le tracé d'un câble de précontrainte.

Fissures de poussée ou vide:

Ces Fissures se concentrent dans la partie centrale de la face inférieure du hourdis et au voisinage des âmes sur la face supérieure du hourdis.

Fissures suivant le placé des câbles :

Ces fissures naissent à quelques décimètres de l'ancrage, à l'extrémité de la zone frettée et se poursuivent suivant le tracé des câbles. Ces fissures se rencontrent en particulier le long des câbles de fléau.

Ponts métalliques

Blocage des appareils d'appui des articulations des joints de chaussée :

L'impossibilité pour les parties mobiles d'un ouvrages de ce déplacer librement. Ce blocage peut entraîner des désordres graves sur le tablier et/ou sur les appuis.

Chevauchement de joints de chaussée :

Chevauchement anormal des éléments d'un joint de chaussée, il peut être :

- longitudinal ;
- transversal (dans les ouvrages courbes ou à biais important).

Corrosion :

Une transformation de métaux en composés divers sous l'action de phénomènes naturel, c'est de loin le problème primordial en matière d'entretien des constructions métalliques.

• **Corrosion par piqûres :**

C'est une corrosion par dissolution, répartie en zone de faible surface ayant l'aspect De trous d'épingle et évoluant dans l'épaisseur du métal.

• **Enrouillement :**

Apparition de la corrosion à travers la protection sans perte notable d'épaisseur du métal.

• **Perforation :**

C'est la phase ultime des deux types de corrosion :

en plein pièce :

Localisée à des trous de faible dimension : résultats de la corrosion par piqûre.

latéral :

Acceptant des zones plus importantes : résultats de la corrosion généralisée.

Défauts du système de protection :

Ce défaut peut se traduire par :

un cloquage

un décollement

un enrouillement pouvant aller jusqu'à la destruction totale du revêtement de protection.

Diversement :

C'est la déformation transversale par suite d'instabilité élastique d'une membrure de poutre par rapport à l'autre, sous l'effet des sollicitations extérieures (moment fléchissant et/ou effet de tranchant).

Gauchissement :

Déformation permanente de torsion d'une pièce.

Gonflement :

-Déformation locale consécutive au foisonnement quand celui-ci se produit entre deux pièces en contact ;

-Celui-ci peut entraîner la rupture des assemblages (boulons ou rivets en particulier).

Fatigue :

Est la rupture d'un élément de l'ouvrage sous des efforts répétés et variables engendrant des contraintes légales ou inférieures à celles prises comme valeurs admissibles dans le projet.

Flambement :

Déformation par suite d'instabilité élastique d'une pièce élancée comprimée axialement.

Foisonnement :

Augmentation apparente du volume d'une pièce sous l'effet de la transformation du métal en produits de corrosion.

Réduction d'épaisseur :

Résultat de la corrosion généralisée

Réduction d'épaisseur peut être locale ou étendue