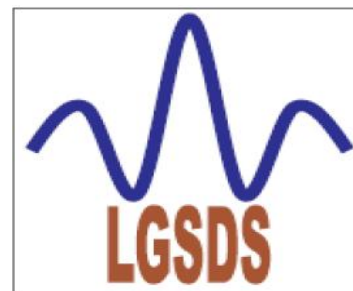


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Civil

Laboratoire Génie Sismique et Dynamique des Structures

Mémoire,

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Thème :

Entretien et réparation des équipements de pont :
(Appareils d'appui et étanchéité)

Réalisé par :

HADJ-RABAH Amira

Encadré par :

Mme D.CHERID

Mme H.MOHABEDDINE

Composition du Jury :

Président :	Mr A.BALI,	Pr	ENP
Rapporteur :	Mme. D.CHERID,	MAA	ENP
	Mme. H.MOHABEDDINE,	MAA	ENP
Examineur :	Mr A.ABDELGUERFI	MAA	ENP
	Mme S.STIHI	MAA	ENP

Promotion : Juin 2016

Ecole Nationale Polytechnique 10, Rue des frères OUDDEK Hassen Badi

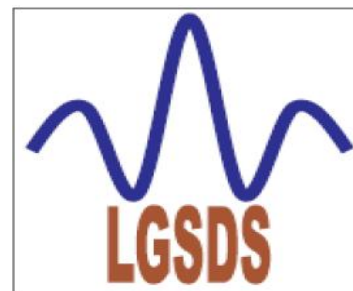
BP 182 16200 El-Harrach, Alger, ALGERIE.

Tel : 023 82 85 35 / Fax : 023 82 85 29

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Civil

Laboratoire Génie Sismique et Dynamique des Structures

Mémoire,

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Thème :

**Entretien et réparation des équipements de pont :
(Appareils d'appui et étanchéité)**

Réalisé par :

HADJ-RABAH Amira

Encadré par :

Mme D.CHERID

Mme H.MOHABEDDINE

Composition du Jury :

Président :	Mr A.BALI,	Pr	ENP
Rapporteur :	Mme. D.CHERID,	MAA	ENP
	Mme. H.MOHABEDDINE,	MAA	ENP
Examineur :	Mr A.ABDELGUERFI	MAA	ENP
	Mme S.STIHI	MAA	ENP

Promotion : Juin 2016

Ecole Nationale Polytechnique 10, Rue des frères OUDDEK Hassen Badi

BP 182 16200 El-Harrach, Alger, ALGERIE.

Tel : 023 82 85 35 / Fax : 023 82 85 29

ملخص:

في وقتنا الحاضر تعتبر دراسة عملية تصليح الجسور ومعداته من المواضيع الأساسية التي لا يمكن التغلبي عنها في مجال تسير المنشآت الفنية الكبرى، هذه الأهمية مدعمة بقابلية المنشآت على التضرر بعوامل مختلفة مع مرور الزمن، وكذا الأفضلية التي تبديها كلفة التصليح والترميم بالنسبة لعملية البناء حيث إن أسعار تصليح الجسور تكون أقل من إعادة بنائها.

الهدف من هذا العمل هو فهم المراحل الأساسية لعملية تصليح الجسور، انطلاقا من فهم الأضرار وصولا إلى تطبيق تقنيات التصليح، طرح قائمة من المشاكل النقائص والأسباب الأكثر مصا دفة، للوصول إلى بعض التوجيهات التي تساعدنا في الحفاظ على المنشآت الفنية، من خلال تقديم عدد من التقنيات المتبعة في ميدان مراقبة، عناية، تصليح وصيانة الملحقات الخاصة بالجسور.

الكلمات المفتاحية: جسر، معدات الجسور، مراقبة، صيانة، تشخيص، تصليح، أضرار.

Abstract:

Nowadays, the study of rehabilitation actions bridges and equipment has become one of the most important subjects; which cannot be neglected especially in their management; powered by the susceptibility of work degradation over time by very varied damage mechanisms. The importance of rehabilitation study is clearly shown after the comparison of repair costs that are more economical than new structures construction.

The objective of this study is to understand the principal actions starting from pathology repair until the realization; by establishing a list of faults, shortcomings and the most frequent causes that are usually faced, to finally get an oriented analysis in order to preserve our construction with having a good knowledge about monitoring methods, diagnostics, servicing and equipments repair.

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

Résumé :

Aujourd'hui, l'étude de réhabilitation des ponts notamment les équipements, présente l'un des thèmes incontournables dans leur gestion ; alimentée par la susceptibilité des ouvrages à se dégrader au cours du temps par des mécanismes d'endommagement très variés. L'importance des études de réhabilitation apparaît très clairement après la comparaison des coûts des réparations qui restent plus économiques que la construction de structures nouvelles.

L'objectif de ce travail est de comprendre les actions principales dans la réparation de la pathologie jusqu'à la réalisation ; d'établir une liste des défauts, insuffisances et causes les plus fréquemment rencontrés, afin de constituer une orientation pour préserver nos ouvrages d'art tout en ayant une connaissance sur les méthodes de surveillance, de diagnostic, d'entretien et de réparation des équipements.

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

Je dédie ce travail à :

A ma grand-mère qu'ALLAH la garde.

A ma très chère mère, Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon cher Père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. A celui qui a veillé sur mon enseignement et mon éducation, Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour, que dieu te garde

A mes très chères sœurs Kenza, Agnes, Mallak, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mes ange gardiens et mes fidèles compagnons. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A tous mes amis et camarades de la promotion 2016 : vous qui aviez été la tout au long de mon cursus et m'avez soutenus, vous serez à jamais dans mon cœur, je souhaite que vous puissiez voir en ce mémoire la marque de ma profonde amitié envers vous.

A tous les membres de ma famille, petits et grands. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

Amira.

Remerciements

Je tiens en premier à remercier Dieu qui m'a donné la volonté, la force, la patience, courage et santé pour réaliser ce travail.

Au terme de ce travail j'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mes encadreurs Mme D.CHERID et Mme H.MOHABEDDINE pour tout le temps qu'elles ont consacré, leurs directives précieuses, et leurs contributions à l'élaboration de ce projet de fin d'étude.

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui me font l'honneur d'examiner mon travail et de participer au jury de soutenance de mon master.

Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à tous nos professeurs de l'ENP.

Mes remerciements vont enfin à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce Master.

Tables des matières :

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale :	11
--------------------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les ponts et leurs équipements.

Introduction :	14
1. Généralités sur les ponts :	14
1.1. Définition :	14
1.2. Désignation du pont :	15
1.3. Définition des différentes parties d'un pont:	15
1.4. Critères de classification :	18
2. Généralités sur les équipements :	20
2.1. Rôle et importance des équipements :	20
2.2.1. Etanchéité :	22
a) Rôle et fonction :	22
b) Les diverses solutions techniques:	22
2.2.2. Appareil d'appui :	25
a)Rôle et fonctions :	25
b)Classificationdesappareilsd'appui :	25
Conclusion:.....	28

Chapitre II : Entretien et réparation des équipements de ponts

Introduction :	30
1. Gestion des ouvrages d'art :	30
1.1. La surveillance des ouvrages d'art :	30
1.1.1. La surveillance continue :	30
a)Lesactionssystematiquesdesurveillance :	30
1.2. Entretien :	31
1.2.1. L'entretien courant :	32
1.2.2. L'entretien spécialisé :	32

1.3.	La réparation :	33
1.4.	Organisation des actions de surveillance :	33
1.4.1.	Le contrôle périodique :	33
1.4.2.	Les inspections détaillées périodiques :	34
1.5.	Entretien des équipements :	34
1.5.1.	Chaussée :	34
1.5.2.	Trottoirs,bordures,réseaux:	35
1.5.3.	Appareil d'appui :	36
1.5.4.	Avaloires, grilles et évacuation des eaux :	38
1.6.	Réparation des équipements:	38
1.6.1.	Chape d'étanchéité :	38
1.6.2.	Appareild'appui :	39
a)	La réparation des appareils d'appui et de leur environnement Vérinage:	39
b)	Recalage des appareils d'appui :	39
c)	Remplacement des appareils d'appui :	39
d)	Création de bossages d'appareils d'appui :	40
Conclusion :		40

Chapitre III : Cas d'étude du pont « TAFOURAH »

1.	Cas d'étude du pont de TAFOURAH :	42
1.1.	Localisation :	42
1.2.	Description générale de l'ouvrage :	42
1.2.1.	Pont 2 :	42
1.2.2.	Pont 3 :	42
1.3.	Résultats des inspections et essais :	43
1.3.1.	Pont 2 :	43
1.3.2.	Pont 3 :	44
1.4.	Travaux de réhabilitation :	46
1.4.1.	Court terme :	46
a)	Travaux de réparation des trottoirs :	46
b)	Travaux de réparation du drainage :	46
c)	Travaux de réparation des appareils d'appui :	46

1.4.2.Moyen terme.....	46
1.5. Entretien préventif.....	46
1.6. Inspection après le séisme du 21 mai 2003 :.....	47
1.6.1. L'origine des défauts et leurs impacts sur la durabilité de l'ouvrage :.....	47
a)Appareil d'appui :.....	47
b)Trottoirs :	47
Conclusion :.....	48
Conclusion générale :	50
Bibliographie.....	52

Liste des tableaux

Tableau III. 1: Caractéristique géométriques des ponts 2 et 3.....	43
Tableau III. 2: Les caractéristiques des appareils d'appui et observations lors d'une inspection pont 2.....	43
Tableau III. 3: Les caractéristiques des appareils d'appui et les observations lors d'une inspection (Pont3).....	45

Liste des figures :

Figure I. 1 : Différentes parties d'un pont	15
Figure I. 2: Les piles	16
Figure I. 3: Les culées	17
Figure I. 4: Le remblai d'accès	18
Figure I. 5: Pont de la Planche à Liré (Maine- et – Loire)	19
Figure I. 6: Pont Rio - Rio de Janeiro- Pont à outres métalliques	19
Figure I. 7: Pont de Normandie (pont à haubans)	19
Figure I. 8: Le pont du détroit d'Akashi a la plus grande portée.....	20
Figure I. 9: Les divers équipements des ponts et leur fonction	21
Figure I. 10 : Etanchéité asphalte	23
Figure I. 11: Constitution d'une chape.....	23
Figure I. 12: Etanchéité par feuille préfabriquée	23
Figure I. 13: Etanchéité par feuille préfabriquée + Asphalte	24
Figure I. 14: Etanchéité par procédé MHC.....	24
Figure I. 15: appareil d'appui métallique combinant un rouleau et une rotule .	25
Figure I. 16: Appareils d'appui mobiles balancier métallique	25
Figure I. 17: Appareil d'appui en béton armé.....	26
Figure I. 18: Schéma type d'un appareil d'appui en élastomère fretté	26
Figure I. 19: Composition schématique d'appareil d'appui à pot	27
Figure I. 20: Appareil d'appui fixe.....	27
Figure I. 21: Appareil d'appui mobile unidirectionnel	28
Figure I. 22: Appareil d'appuis mobiles multidirectionnels.....	28
Figure II. 1: Entretien de la chape d'étanchéité d'un tablier	35
Figure II. 2: Entretien des trottoirs et bordures	36
Figure II. 3: Distorsion d'un appareil	37
Figure III. 4: Eclatement du bossage.....	37
Figure II. 5: Nettoyage et débouchage des évacuations des eaux	38
Figure III. 1: Ponts de TAFOURAH.....	42



Introduction générale

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

Le pont, ouvrage d'art par excellence, occupe une place très particulière parmi les constructions ; il permet à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel, ou une autre voie de circulation ; il est un moyen de communication entre les hommes, d'expansion de la civilisation, mais aussi un instrument de conquête et d'invasion.

La plus part de ces ouvrages peuvent être affectés par des désordres de gravité très variables et dont les causes sont multiples, la présence de déformations ou de fissurations inhabituelle est souvent le signe visible d'une pathologie. Dans le même ordre d'idées, les équipements des ponts peuvent connaître une pathologie, car la plupart sont réalisés avec des matériaux susceptibles de se dégrader au cours du temps, par des mécanismes d'endommagement très variés qui peuvent induire une dégradation structurale, fonctionnelle et esthétique. Par ailleurs leur dégradation peut également être le signe de désordres plus importants affectant l'ouvrage même, et avoir comme conséquence une perte de valeur ou de qualité de service.

Pour permettre d'augmenter ou tout simplement de tenir la durée de vie prescrite à l'ouvrage, il y a lieu de prévoir une réparation adéquate, mais il est important, pour que la réparation soit de qualité, de connaître toutes les causes et les types de pathologies apparentes ou cachées affectant ces ouvrages (équipements). Afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, il est essentiel d'établir le diagnostic nécessaire pour la prise de décision relative à l'entretien, maintenance ou réhabilitation.

Pour cela le diagnostic préalable de l'ouvrage constitue la base nécessaire pour le choix d'une stratégie de réparation la plus adéquate, il ne peut être effectué que par des ingénieurs spécialistes et expérimentés connaissant bien, en particulier, les multiples causes de dégradation et leur réparation.

Introduction générale

Ce modeste travail que je présente consiste à présenter et relater les différentes phases de réparation et de maintenance des équipements d'un ouvrage.

Le plan de travail est structuré comme suit :

1^{er} chapitre a été consacré aux généralités sur les ponts ainsi que leur équipements (appareils d'appui, étanchéité....).

2^{eme} chapitre portera sur l'entretien et la réparation équipements de pont (Appareil d'appui et étanchéité).

3^{eme} chapitre portera sur un cas d'étude de pont TAFOURAH.

Mon mémoire s'achève par une conclusion.

Chapitre I

Généralités sur les ponts et leurs équipements

Introduction :

La plus part de ouvrages d'art peuvent être affectés par des désordres de gravité très variables et dont les causes sont multiples, par ailleurs les équipements de pont peuvent connaître une pathologie, car la plupart sont réalisés par des matériaux susceptibles de se dégrader au cours du temps, par des mécanismes d'endommagement très variés qui peuvent induire une dégradation structurale, fonctionnelle et esthétique même une ruine de l'ouvrage.

Donc la première étape qui nous permettra de lutter contre ces pathologie c'est la compréhension approfondie des phénomènes déclencheurs et les désordres résultants ces pathologies, il s'agit de répondre à la question suivante :

✚ Quelle sont les différentes pathologies affectant les équipements d'un pont ?

Ce chapitre introductif est découpé en 2 parties. Dans une première partie, je vais présenter les différents types de pont et leurs organes. Ensuite sont décrits les différents équipements qui se trouvent sur un pont.

1. Généralités sur les ponts :

1.1. Définition :

Pour élaborer des routes, on rencontre différents obstacles tels que les oueds ou rivières, les montagnes, les chemins de fer et les autres routes. Pour les franchir, on construit des ouvrages artificiels, qui portent le nom : Ouvrages d'Art. Ce terme est composé de deux mots :

- «Ouvrages» indiquant les constructions.
- « Art » indiquant l'importance de l'aspect esthétique et architectural dans ces constructions.

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

✚ **Buses et dalots :**

Ce sont des ouvrages surtout hydraulique et parfois routier en béton armé ou en acier de forme cylindrique ovale ou rectangulaire. Ces ouvrages sont en général des tubes de sections normalisées, noyés dans le remblai, de forme circulaire ou rectangulaire en béton armé préfabriqué ou en métal.

✚ **Tunnels :**

D'après la destination du tunnel, on distingue principalement les tunnels routiers, ferroviaires, canaux et les tunnels hydrauliques. Ce sont généralement des ouvrages coûteux, en raison de la nécessité de leur ventilation, de leur éclairage et de leur surveillance. Leur construction n'est justifiée que dans des cas exceptionnels.

✚ **Un pont :**

Un pont est une construction qui permet d'enjamber une brèche (une vallée, un ravin) ou de franchir un obstacle (route, autoroute, chemin de fer).

Cet ouvrage supporte le passage d'hommes et de véhicules dans le cas d'un pont routier, ou d'eau et de canalisation dans le cas d'un aqueduc.

Dans la suite, je traiterai l'étude des ponts et leurs équipements.

1.2. Désignation du pont :

La désignation du pont s'adapte à son utilisation :

Passage de :	Désignation du pont :
Une route	Pont route
Une voie piétonne	Passerelle
Une voie ferrée	Pont-rail
Un canal	Pont-canal
Eau d'addiction	Aqueduc

1.3. Définition des différentes parties d'un pont [9]:

Quelques termes importants pour la suite de notre étude y sont définis, la figure suivante illustre les différents éléments d'un pont :

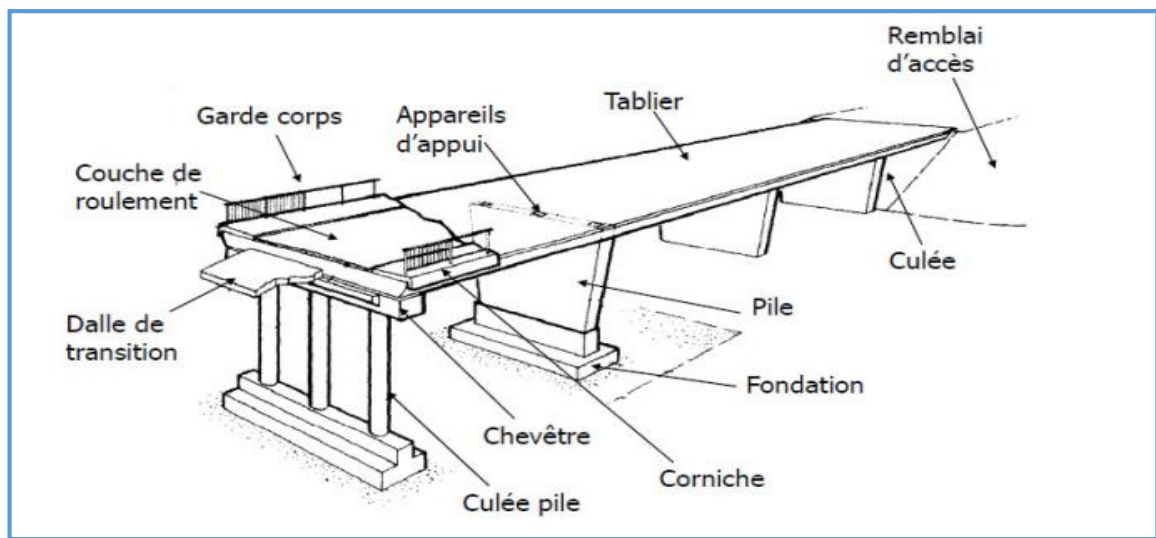


Figure I. 1 : Différentes parties d'un pont [7].

- ✚ **Le tablier** : plateau supportant la voie de circulation qui relie les deux côtés de la brèche.
- ✚ **Les appuis** : Ils transmettent au sol les actions verticales provenant du tablier. Ils sont généralement en béton armé.

✚ **Les piles :** Elles comportent au minimum 2 parties :

- La superstructure ou fût, reposant éventuellement sur une nervure.
- La fondation : Elle comporte des éléments verticaux qui peuvent être :
 - Des voiles -éléments longs, de section allongée. Ils comportent au moins 2 points d'appui pour supporter le tablier.
 - Des colonnes (section circulaire) ou des poteaux (section rectangulaire) ce sont des éléments courts, de faible section. Chaque élément comporte un point d'appui ou bien les éléments sont reliés en tête par un chevêtre sur lequel repose les points d'appui du tablier.

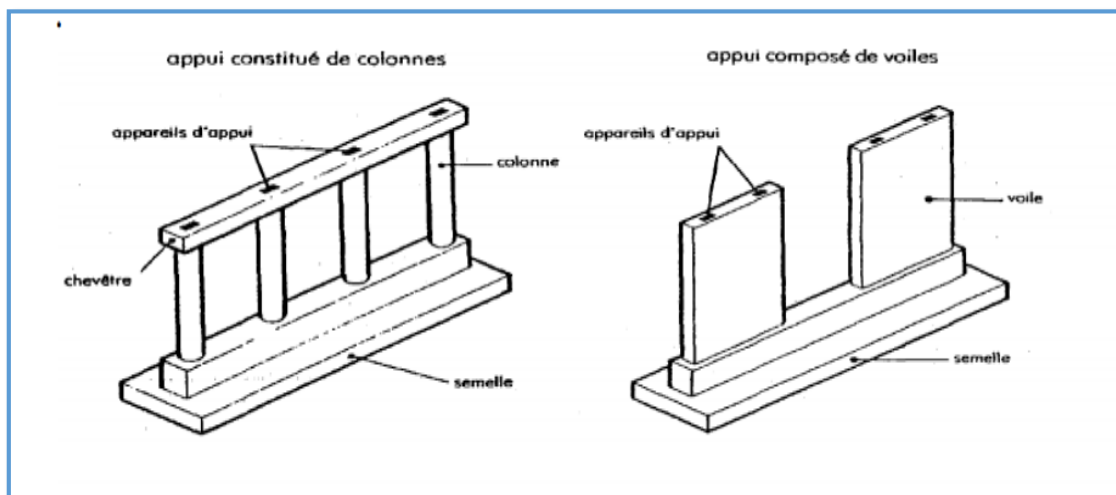


Figure I. 2: Les piles [10] .

✚ **Les culées :**

Appuis d'extrémité d'un pont, elles servent à soutenir le poids du tablier assurer le soutènement du remblai d'accès à l'ouvrage en résistant aux efforts horizontaux dus à la structure. Les culées comportent 4 parties :

- *une fondation.*
- *un mur de front*, sur lequel s'appuie le tablier et qui assure la stabilité du remblai d'accès.
- *un mur garde grève*, qui assure le soutènement des remblais latéralement.
- *une partie supérieure* (chevêtre) sur laquelle s'appuie le tablier.
- *Un corbeau et une dalle de transition.*

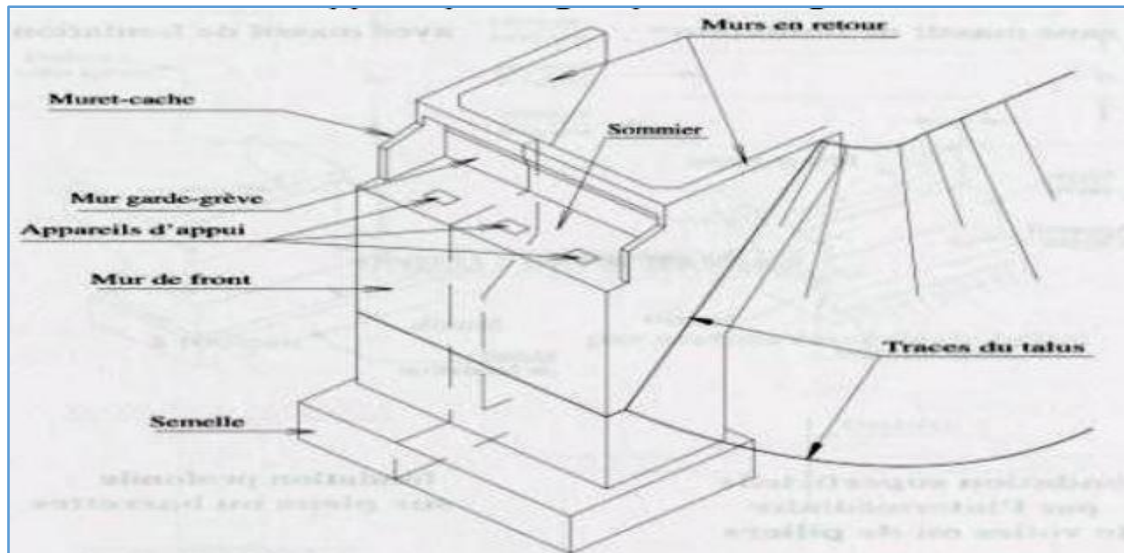


Figure I. 3: Les culées [10].

On peut différencier 5 types de culées principales, les culées enterrées, remblayées, creuses, en parois de soutènement ou encore en terre armée.

- ✚ **Les piles-culées** : Ce sont des appuis d'extrémité, enterrés dans le remblai d'accès (complètement ou partiellement). La pile culée n'assure pas la fonction de soutènement du remblai d'accès (sauf en tête de remblai dans certains cas).

Les piles-culées comportent 3 parties :

- *une fondation.*
- *une partie intermédiaire* constituée par des éléments verticaux (voiles, poteaux, colonne).
- *une partie supérieure* (chevêtre) sur laquelle s'appuie le tablier.

✚ Remblai :

Le maintien du remblai est généralement assuré par le technique de la terre armée (procédé Freyssinet) : Le remblai est bordé par des écailles auxquelles sont fixées des armatures plates crantées en acier galvanisé (ou en fibres polyester-polyéthylène) qui sont disposées dans le remblai fortement compacté. Le système fonctionne grâce aux frottements importants entre les armatures (réparties tous les 75 cm environ) et le remblai pulvérulent mis en œuvre par couche de 40 cm environ d'épaisseur.

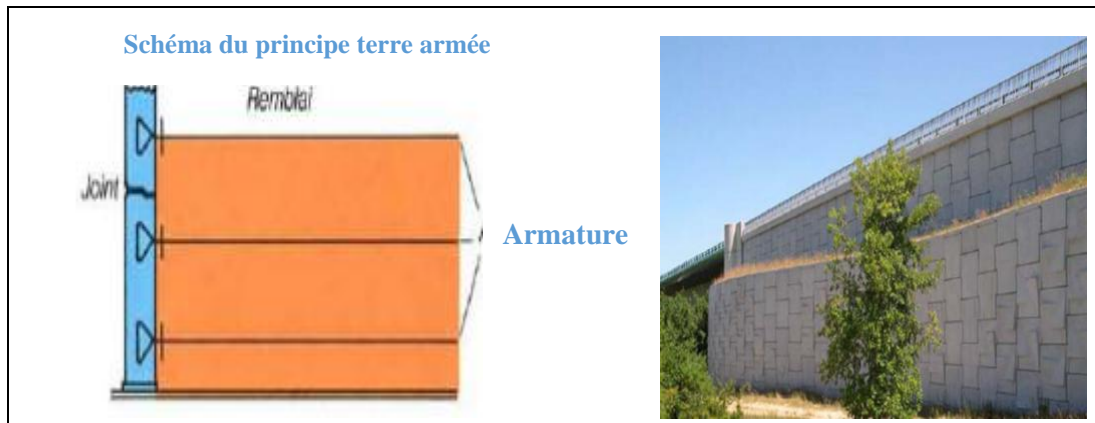


Figure I. 4: Le remblai d'accès [10].

1.4. Critères de classification :

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

- ✚ **La nature de la voie portée** : on distingue le pont-route, pont-rail.
- ✚ **La géométrie** : pont droit, pont courbe et pont biais.
- ✚ **La nature du matériau utilisé** (dans la réalisation des éléments porteurs) : pont en bois, pont en maçonnerie, pont métallique (fonte, fer, acier), pont en béton armé et pont en béton précontraint.

On introduit ici la notion de pont « mixte » dont les éléments porteurs sont en acier à lesquels on associe une dalle collaborant en béton armé ou précontraint, participant dans la résistance générale à la flexion du tablier.

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

Couramment, la classification adoptée se rapporte plus à la structure du tablier qui est la partie plane de l'ouvrage qui permet de porter la voie de communication et de raccorder entre les deux rives de l'obstacle qui sont :

- **Pont à voûtes** : ou ponts en maçonnerie Ce sont les premiers ponts durables réalisés. Ils ne travaillent qu'en compression. Les efforts se répartissent sur les piles et sur les culées à chaque extrémité. Les ponts à voûtes n'acceptent que des portées courtes.



Figure I. 5: Pont de la Planche à Liré (Maine- et – Loire) [10].

- **Pont à poutres** : La structure peut être assimilée à une poutre droite, qui travaille en flexion. Il s'agit du mode de construction le plus répandu pour la plage allant de 5 à 200 mètres de portée.



Figure I. 6: Pont Rio - Rio de Janeiro- Pont à outres métalliques [10].

- **Pont en arc** : Dans un pont en arc, la rivière ou la brèche est franchie en une seule fois par une seule arche alors que dans le pont à voûtes, le tablier repose sur des piles intermédiaires. Le pont en arc associe la compression à la flexion.
- **Pont à haubans** : Un pont à haubans est un type de pont à câbles en acier. Le tablier est maintenu par un réseau de câbles directement tendus entre le sommet (ou une partie proche du sommet) des pylônes et fixés à intervalles réguliers sur le tablier. Ils sont particulièrement adaptés aux très grandes portées.



Figure I. 7: Pont de Normandie (pont à haubans) [10].

- **Pont suspendu** : Un pont suspendu est un pont dont le tablier est suspendu à des pylônes par un système de câbles. Il est rangé dans la famille des ponts à câbles, combinant la traction, la compression et la flexion. Les pylônes supportent un ou deux câbles principaux, appelés câbles porteurs, qui vont d'une culée à l'autre, ces câbles soutiennent le tablier par l'intermédiaire d'un ensemble de câbles verticaux : les suspentes.



Figure I. 8: Le pont du détroit d'Akashi a la plus grande portée[10].

2.Généralités sur les équipements :

2.1. Rôle et importance des équipements [1]:

On désigne par "équipements" l'ensemble des dispositifs de nature, de conception et de fonctionnement très divers, mais dont le but est de rendre un tablier de pont apte à remplir sa mission, notamment vis-à-vis des usagers. Ces dispositifs, parce qu'ils n'ont pas la pérennité de la structure elle-même, ne sont pas liés à demeure sur l'ouvrage. Ils remplissent un certain nombre de fonctions :

a) assurer la sécurité des personnes et de la circulation : ce sont les bordures de trottoirs et les dispositifs de retenue (garde-corps, glissières et barrières).

b) protéger et maintenir la pérennité de la structure avec l'évacuation des eaux, les perrés sous travées de rive et surtout l'étanchéité.

c) permettre un fonctionnement correct de la structure : les appareils d'appui et les joints de chaussée.

d) rendre la circulation confortable avec la chaussée, les dalles de transition, les joints de chaussée ou plus simplement être un élément de confort visuel avec les corniches ou de confort de la vie pour les riverains grâce aux écrans acoustiques.

e) permettre la visite et l'entretien courant du pont : échelles, portes, passerelles, etc.

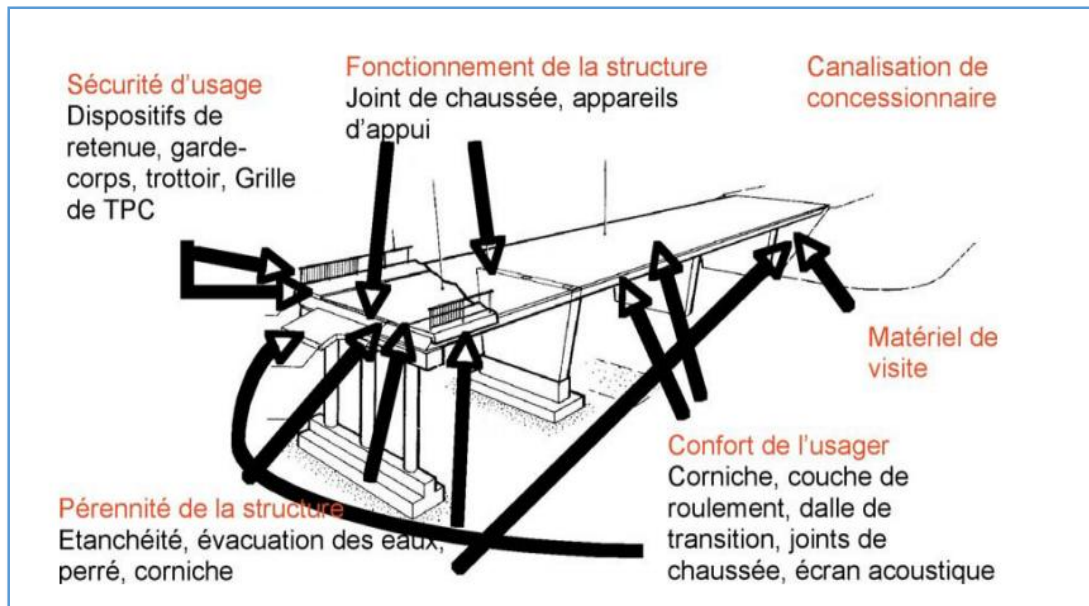


Figure I. 9: Les divers équipements des ponts et leur fonction [10].

Par rapport à la structure, les "équipements" sont caractérisés par :

a) **leurs matériaux constitutifs**, souvent issus de la chimie, avec les bitumes, les associations bitume polymère, l'asphalte, les élastomères, les résines de synthèse, l'alliage d'aluminium, les composites, l'acier, etc...

b) **les agressions particulières** auxquelles ils sont soumis : construits séparément de la structure, avec parfois des pièces en mouvement, soumis à l'action directe du trafic, ils sont sujets à usure (quand ce n'est pas le vandalisme).

c) **leur fabrication et leur mise en œuvre** relèvent, dans la plupart des cas, d'entreprises spécialisées, elles interviennent dans des conditions délicates qui sont celles, soit de fournisseurs de produits de haute technologie vis-à-vis d'entreprises de gros œuvre ou de génie civil, soit de sous-traitantes.

À l'époque, le prix des équipements ne comptait pas beaucoup dans la facture finale ; actuellement, cet aspect financier ne doit pas être négligé. En effet, le coût des équipements est couramment de l'ordre de 8 à 12% du coût total d'un pont et peut, dans certains cas limites, atteindre 25 à 30%. A ces coûts, il faut ajouter les frais d'entretien, de réparation ou de remplacement qui peuvent être très lourds, surtout si l'on tient compte de la gêne aux usagers et des interruptions de circulation.

2.2. Différents type d'équipements :

2.2.1. Etanchéité [4] :

a) Rôle et fonction :

Le rôle de l'étanchéité est d'assurer la protection des éléments constitutifs de la structure, principalement la dalle ou le hourdis (c'est-à-dire les parties horizontales), contre les produits agressifs comme l'eau de ruissellement et des éléments nocifs qu'elle transporte (les sels de déverglaçage, les produits de combustion des véhicules). Le coût de cet équipement n'est pas négligeable, or le risque d'un défaut d'étanchéité annulant l'efficacité de l'équipement n'est pas nul. La chape d'étanchéité est un équipement primordial de la stabilité et de la durabilité de la structure c'est pourquoi il faut bien prendre en considération les aspects suivants :

- Choix du procédé et l'entreprise.
- Vérifier la compétence et la qualification de l'applicateur.
- Prévoir un plan de contrôle adapté.
- Vérifier que le chantier ne se déroule dans une période climatique défavorable.

b) Les diverses solutions techniques [9]:

Pour assurer l'étanchéité des ponts et viaducs, il existe 5 types d'étanchéité. On peut les décrire sommairement comme suit :

Etanchéité asphalte :

Dans leur forme la plus traditionnelle, ce sont des produits coulés à chaud (200°C), déposé en semi indépendance sur une feuille de papier Kraft à trous ou une résille de verre pour faciliter la diffusion de la vapeur d'eau issue du béton La couche d'étanchéité d'une épaisseur de 4 à 8 mm, est protégée par une couche d'asphalte gravillonnée de 22 à 26 mm d'épaisseur destinés aux ponts construits par phase (pont à voussoirs construit en encorbellement successif) [10].

Sur les grands ouvrages subissant un fort trafic on choisit une chape de 35 mm d'épaisseur, mais dans le cas général est égale à 30 mm avec une masse volumique de 2,4t/m³.

L'asphalte coulé est un produit fini constitué d'un mélange à chaud en proportions variables de :

- liant bitume pouvant être modifié par des polymères.
- filler : provenant du broyage calibré de roche calcaire.
- sable (< 2 mm).
- gravillons.

L'ensemble "bitume + filler" constitue le "mastic", tandis que le sable et les gravillons composent le "squelette" minéral de l'asphalte coulé.

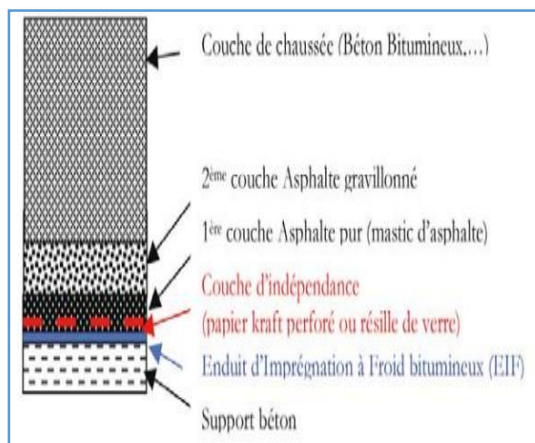


Figure I. 10 : Etanchéité asphaltée (guide MEMOAR du SETRA) [9].

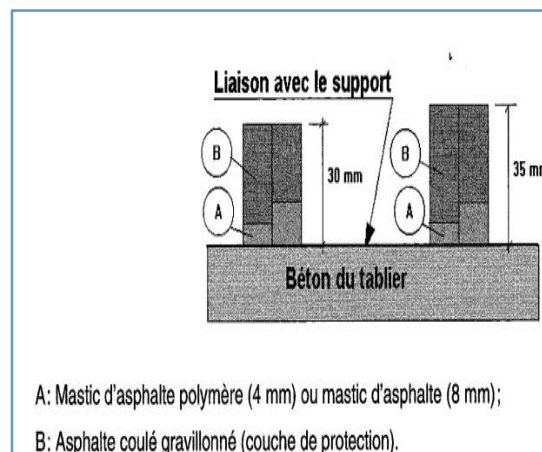


Figure I. 11: Constitution d'une chape épaisse [9].

✚ *Etanchéité par feuille préfabriquée monocouche :*

L'étanchéité est assurée par des feuilles préfabriquées comportant une couche de bitume modifiée par un polymère et une armature. La feuille est collée à la dalle par fusion du liant de la feuille sur un enduit d'imprégnation à froid.

elle est aussi protégée par une couche d'asphalte gravillonnée.

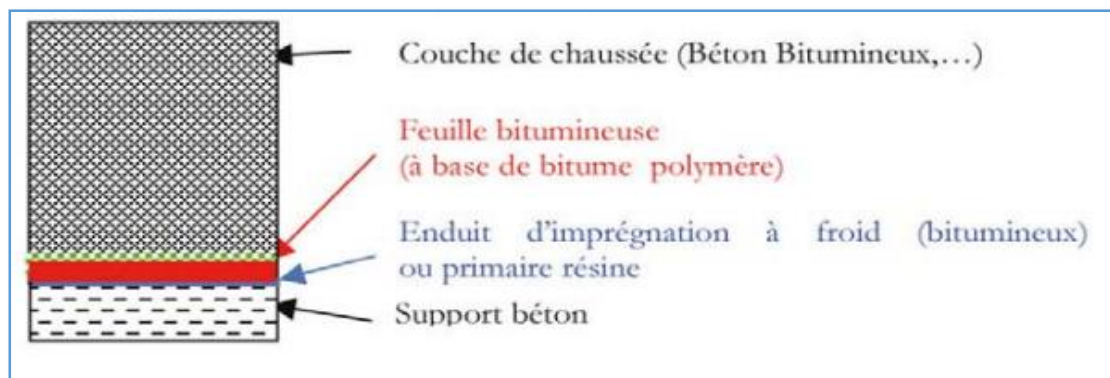


Figure I. 12: Etanchéité par feuille préfabriquée [9].

✚ *Etanchéité par feuille préfabriquée +asphalte :*

C'est le même principe que l'étanchéité par feuille préfabriquée mais, sauf que celle-ci est protégée par une couche d'asphalte gravillonnée.

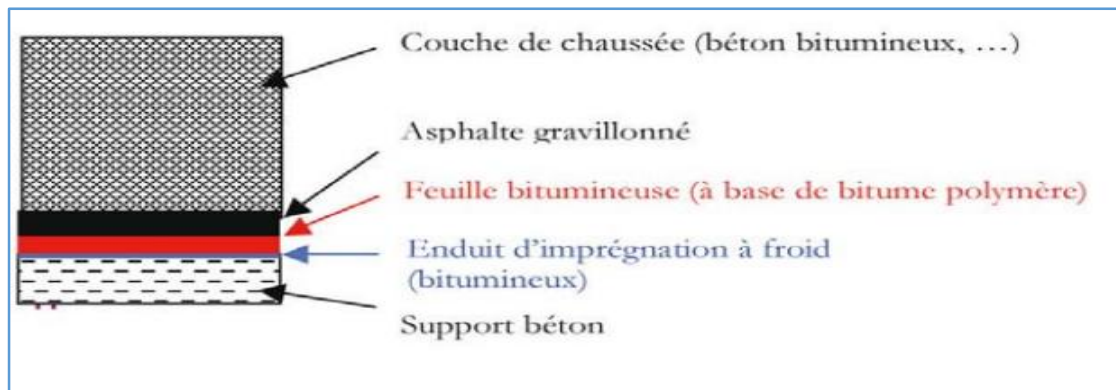


Figure I. 13: Etanchéité par feuille préfabriquée + Asphalté [9].

✚ **Etanchéité par Moyen Haute Cadence MHC :**

Les précédents procédés ont des cadences de mise en œuvre allant de 120 à 130m²/jour/équipe. Dans le cas d'un ouvrage devant être rapidement livré à la circulation, il est possible d'employer cette technique consistant à déposer simultanément à l'aide de matériaux spéciaux, l'ensemble des couches de revêtement.

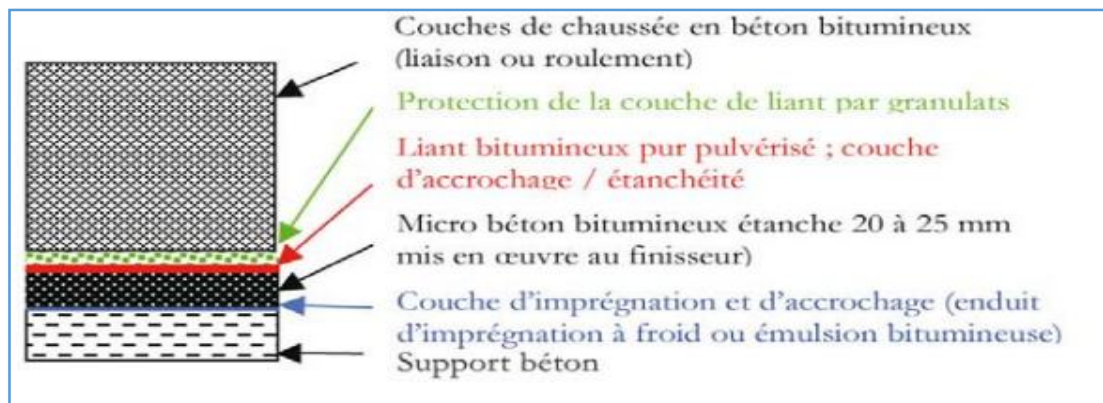


Figure I. 14: Etanchéité par procédé MHC [9].

Les travaux d'étanchéité des ponts routes représentent environ 2% du coût total d'un ouvrage (variable de 1 à 3,5%) et sont donc d'un poids relativement faible par rapport aux autres éléments de la structure. Cependant les conséquences d'un mauvais choix du type d'étanchéité, des défauts d'application, d'usage de matériaux inadéquats, etc. peuvent être graves pour la tenue des ouvrages. Le coût des réparations et de leurs conséquences dépasse alors largement le coût de l'investissement initial, aussi bien du fait des travaux (démolition du revêtement, de l'étanchéité, réparation du support) que des conséquences liées à l'interruption de la circulation, totale le plus souvent. Il est donc nécessaire de s'assurer que les produits, procédés ou systèmes qui seront proposés pour constituer une étanchéité de pont soient parfaitement efficaces, bien adaptés au domaine d'emploi et correctement mis en œuvre.

2.2.2. Appareil d'appui :

a) Rôle et fonctions :

Ces organes doivent transmettre aux structures porteuses (pile, culée) ou à d'autre partie d'ouvrage, les actions du au tablier et aux charges qui lui sont appliquées. Le type de liaison qu'ils assurent est caractérisé par l'existence d'au moins un déplacement bloqué et d'une liaison libre. Situés aux points sensibles de la structure, ils entraînent par leur détérioration des modifications significatives du mode de fonctionnement initialement prévu. Les conséquences importantes induites justifient une attention particulière lors des visites de surveillance ou de l'établissement d'un diagnostic sur l'état de la structure.

b) Classification des appareils d'appui [5] :

Pour faciliter l'approche des différents types d'appareils d'appui les plus courants, on utilise fréquemment une classification à deux niveaux :

- **Le premier critère** : est la nature du matériau constitutif prépondérant, les principaux types sont généralement les suivants :
 - ✚ **Les appareils d'appui métallique** : Ce sont les appareils d'appui à rouleau, à balanciers, avec rotules, sphériques.



Figure I. 15: appareil d'appui métallique combinant un rouleau et une rotule [8].



Figure I. 16: Appareils d'appui mobiles balancier métallique [8].

✚ Les appareils d'appui en béton :

On rencontre ce type d'appareil d'appui sur des ouvrages relativement anciens. En effet, les appareils d'appui modernes sont maintenant choisis du fait de leur industrialisation qui a contribué à une meilleure fiabilité de leurs caractéristiques et, aussi, de leur simplicité de mise en œuvre.

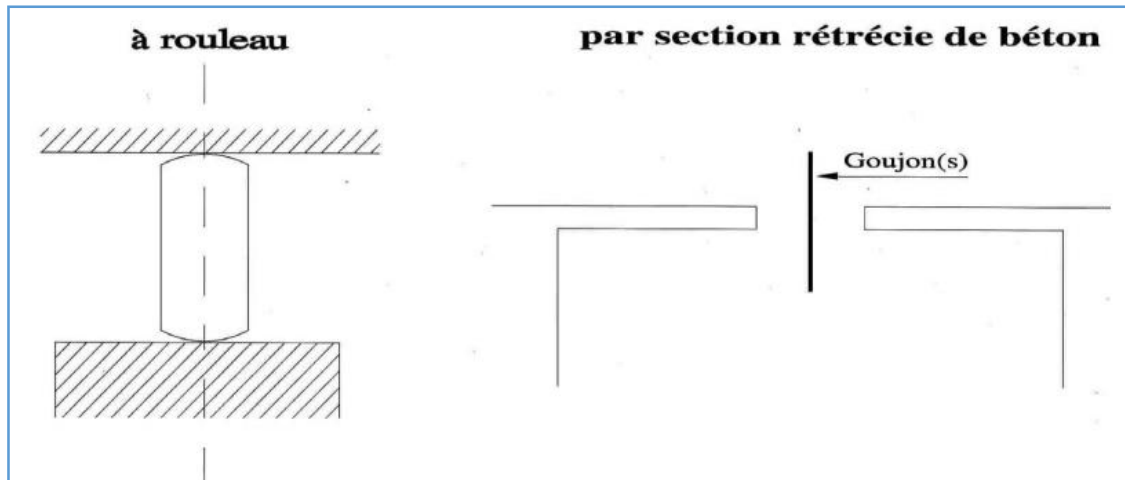


Figure I. 17: Appareil d'appui en béton armé.

✚ Les appareils d'appui en élastomère fretté [6]:

Un appareil d'appui en élastomère fretté (AAEF) est un « bloc d'élastomère vulcanisé » renforcé intérieurement par une ou plusieurs frettes en acier, collées chimiquement (adhérisation) pendant la vulcanisation. L'élastomère est un matériau macromoléculaire qui reprend approximativement sa forme et ses dimensions initiales après avoir subi une importante déformation sous l'effet d'une faible variation de contrainte.

Ce type d'appareils d'appuis est plus couramment employé pour tous les ouvrages en béton à cause des avantages qu'ils présentent :

- ✚ Facilité de mise en œuvre réglage et contrôle.
- ✚ Ils permettent de répartir les efforts horizontaux entre plusieurs appuis.
- ✚ Ils n'exigent aucun entretien, ainsi que leur coût est relativement modéré.

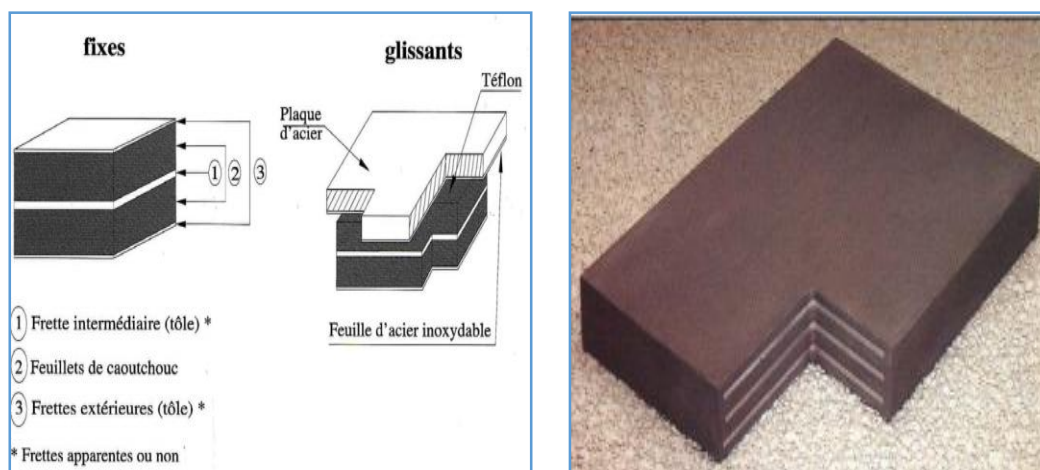


Figure I. 18: Schéma type d'un appareil d'appui en élastomère fretté [8].

✚ Les appareils d'appui à pot :

Ils ont été largement très employés et constituent le type d'appareil d'appui le plus utilisé après les appareils d'appui en élastomère fretté, cette place importante est due à leur principe qui permet une forte descente de charge pour un encombrement réduit, notamment en épaisseur. Un autre avantage est leur simplicité de conception qui permet de rationaliser la fabrication. Le principe de cet appareil est d'avoir un coussin cylindrique d'élastomère enfermé dans un pot et qui reçoit la charge par l'intermédiaire d'un piston formant couvercle du pot. L'élastomère ne peut se déformer qu'à volume constant ce qui lui permet de transmettre des charges élevées et d'autoriser les rotations imposées par la structure.

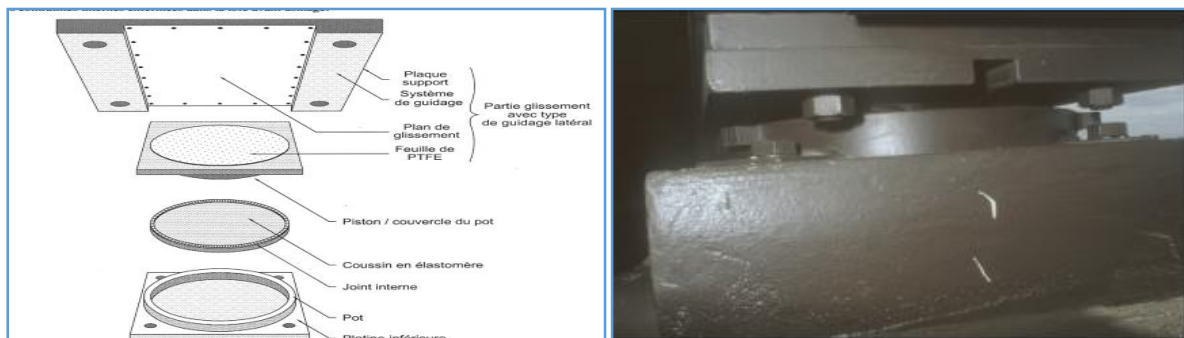


Figure I. 19: Composition schématique d'appareil d'appui à pot [6].

- Le deuxième critère prend en compte le déplacement, les types d'appareils d'appui peuvent être définis comme suit :

✚ Fixes :

- qui permettent les rotations sur appui,
- mais ne permettent pas les déplacements.

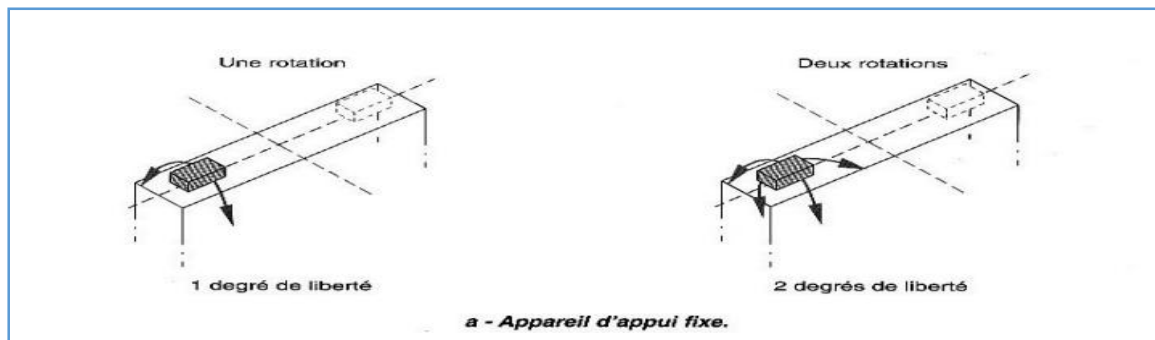


Figure I. 20: Appareil d'appui fixe [5].

✚ Mobiles unidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui,
- ainsi que les déplacements mais dans une seule direction.

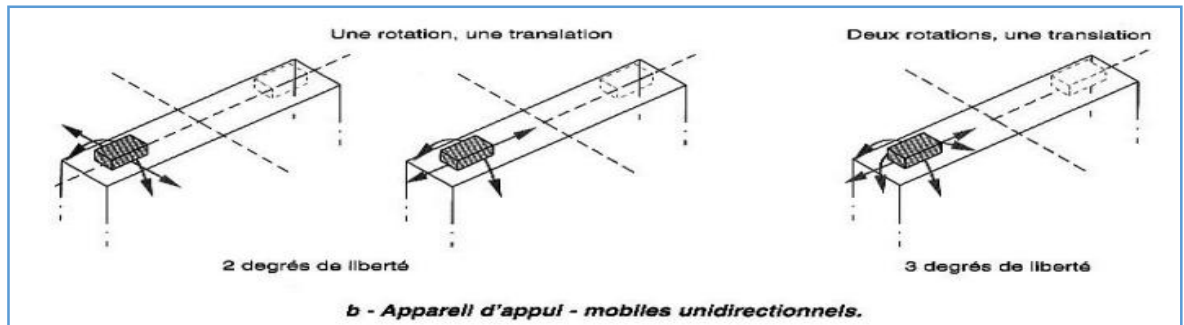


Figure I. 21: Appareil d'appui mobile unidirectionnel [5].

✚ Mobiles multidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui.
- ainsi que les déplacements dans toutes les directions.

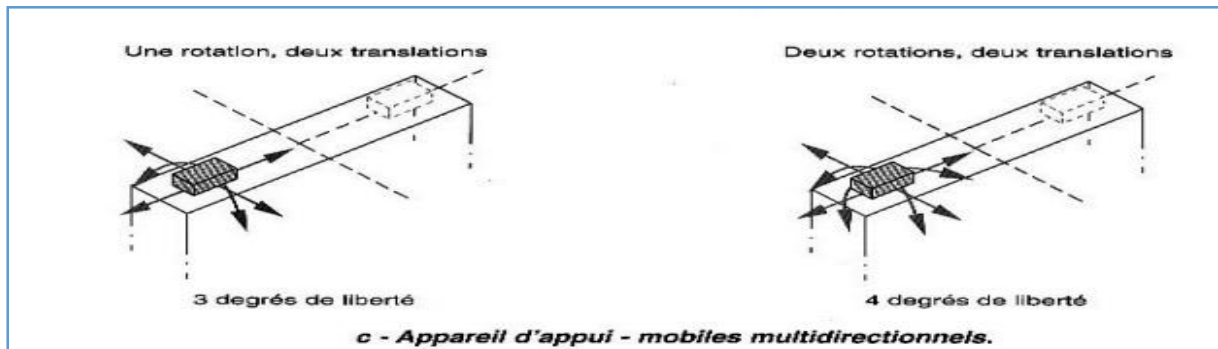


Figure I. 22: Appareil d'appuis mobiles multidirectionnels [5].

Conclusion:

Dans ce chapitre j'ai présenté en 1^{er} partie des généralités sur les ponts (terminologie, constituants d'un pont, classe du pont..), et en 2^{eme} partie des généralités sur les équipements notamment les appareils d'appui et étanchéité.

Le prochain chapitre portera sur un exemple de dimensionnement et vérification d'un appareil d'appui en élastomère fretté.

Chapitre II

Entretien et réparation des équipements de pont

Introduction :

La dégradation et l'entretien des ouvrages d'art sont un constant sujet de préoccupation entraînant des frais considérables et causant de graves préjudices pour l'économie du pays. Ce chapitre s'intéresse à la gestion, entretien et réparation des équipements de pont, ainsi que les méthodes d'entretien et réparation de chaque équipement.

1. Gestion des ouvrages d'art :

1.1. La surveillance des ouvrages d'art [7] :

La surveillance de l'état des ouvrages d'art est déterminante pour l'entretien du patrimoine et la sécurité des usagers; elle doit donc avoir un caractère systématique. Elle a pour objet de s'assurer que chaque ouvrage est dans un état conforme à ce pour quoi il a été construit et offre aux personnes qui l'empruntent, ou qui circulent à ses abords, des conditions de sécurité satisfaisantes. La surveillance des ouvrages d'art passe par des contrôles et des examens permettant de suivre son état afin de réaliser en temps utile les opérations d'entretien et, le cas échéant, de déclencher les mesures de sécurité nécessaires.

1.1.1. La surveillance continue :

Dans un souci d'économie et d'efficacité, on a intérêt à repérer et à traiter au plus vite les désordres affectant les ouvrages pour éviter toute dégradation supplémentaire ou tout incident. Or, une situation manifestement anormale, comme : un arrachement d'une partie du garde-corps d'un pont, un trou dans la chaussée ou la dégradation d'un équipement d'assainissement, ... peut souvent être détectée facilement par toute personne circulant sur l'ouvrage.

Il y a donc tout intérêt à ce que la collectivité s'organise pour que l'information recueillie soit portée à sa connaissance et traitée dans les meilleurs délais.

Dans ce cadre, suivant les moyens techniques et la typologie de son patrimoine, le maître d'ouvrage peut mettre en place le principe d'une surveillance périodique qui met à profit les tournées de ses agents les mieux placés pour exercer une telle vigilance.

a) Les actions systématiques de surveillance :

Les actions systématiques de surveillance font l'objet d'une programmation suivant une périodicité définie par le maître d'ouvrage. Elles comprennent :

- ✚ **Le contrôle périodique** concrétisé par un procès verbal ou un rapport synthétique; ce contrôle, voulu simple, réalisé visuellement, sans moyens d'accès particulier, peut être effectué par les équipes chargées de l'entretien des ouvrages.

Périodicité : **1 fois par an**

Les objectifs du contrôle permettent de :

- déceler l'évolution des désordres déjà constatés.
- constater des désordres graves présentant une menace.

- permettre de relever la nature des travaux d'entretien courant et des petits travaux d'entretien à réaliser.

Toute visite de contrôle d'un ouvrage doit être réalisée par une équipe d'au moins deux personnes, pour raison de sécurité.

✚ **L'inspection détaillée périodique** de l'ouvrage réalisée par des équipes ou bureaux d'études spécialisés avec utilisation de moyens d'accès.

Périodicité : **une fois tous les trois, six ou neuf ans** à définir par le maître d'ouvrage selon le type d'ouvrage, de sa sensibilité à son environnement et de son état relevé au cours des contrôles périodiques.

L'objectif de cette visite ou inspection détaillée périodique est de vérifier

- que l'état de l'ouvrage ne s'est pas anormalement dégradé,
- que les dispositifs assurant la sécurité des usagers sont dans un état acceptable.
- qu'il n'y a pas de désordres apparents menaçant la sécurité.

Pour l'ingénieur ce désordre comporte deux aspects fondamentaux : prévenir et guérir mise à part la nécessité de connaître dans les deux cas la nature des dommages qui peuvent se produire, ces deux aspects sont distincts et seront traités séparément [3].

Entre les deux considérations :

Prévenir : c'est étudier l'ouvrage, empêcher les dégâts graves (pour la durée de l'ouvrage), exiger que l'exécution soit correcte qualité des matériaux qualité adaptés aux conditions atmosphériques.

Guérir : si l'ouvrage n'est pas parvenu à empêcher la dégradation, il convient de remplacer ou de réparer l'ouvrage, habituellement, on prépare l'exécution d'une réparation de ce genre qui nécessite une technique minutieuse. Elle comporte 5 étapes :

- Découvrir la dégradation.
- Déterminer sa cause.
- Evaluer la résistance de l'ouvrage.
- Evaluer les réparations.
- Choisir une méthode de réparation.

1.2. Entretien [2]:

Tous les ouvrages d'art doivent être entretenus et, si nécessaire, réparés. On distingue l'entretien préventif et la réparation. L'entretien préventif consiste à intervenir, soit systématiquement, soit sur la base d'une dégradation prévisible ou amorcée, sur tout ou partie d'un ouvrage avant que celui-ci ne soit altéré. Il vise à prévenir une altération, pour des raisons tant économiques que de sécurité de fonctionnement. On distingue :

- **l'entretien courant** : les interventions étant réalisées périodiquement en fonction d'un calendrier, il doit être réalisé une fois par an.
- **l'entretien spécialisé** : les interventions étant programmées en fonction d'observations.

La réparation consiste à remettre partiellement ou totalement un ouvrage altéré. Elle peut être précédée d'une intervention immédiate pour assurer la sécurité des personnes et doit d'abord faire l'objet d'un diagnostic.

1.2.1. L'entretien courant :

Il s'agit des tâches courantes d'entretien qui ne nécessitent pas l'application de techniques spéciales et ne concernent pas les interventions structurelles. L'entretien courant comprend des tâches régulières et/ou systématiques (par exemple le nettoyage de l'environnement immédiat des appareils d'appui) et des tâches conditionnées par l'environnement et l'usage des ouvrages.

Les opérations d'entretien courant :

Il s'agit des opérations suivantes :

- Nettoyage des dépôts en rives de la chaussée et sur les trottoirs.
- Nettoyage des sommiers d'appui, de l'intérieur du tablier.
- Entretien courant de la chaussée sur ouvrage.

1.2.2. L'entretien spécialisé :

Malgré un bon entretien, l'ouvrage subit, avec le temps, des dégradations sous l'action de la circulation et de son environnement ; leur réparation rapide peut éviter une aggravation entraînant des dépenses importantes ; ces travaux d'entretien spécialisés sont toujours décidés et définis après réalisation de constats (contrôles périodiques, inspections détaillées). Ils sont normalement prévisibles et peuvent faire l'objet d'une programmation pluriannuelle.

Ces travaux sont souvent de faible importance ; ils portent pour l'essentiel sur les équipements et les éléments de protection et également sur les défauts mineurs de la structure qui ne remettent pas en cause la capacité portante de l'ouvrage, Entretien et réfection du système de protection contre la corrosion suivant les prescriptions des fabricants, ils peuvent néanmoins être onéreux rapportés aux dimensions des ouvrages.

L'entretien est celui qui, demandant peu de moyens et peu de technicité, doit être réalisée de façon régulière en étroite liaison avec la surveillance continue. Cet entretien à la charge du maître d'ouvrage doit être exécuté systématiquement pour tous les ouvrages en fonction des observations recueillies au cours de la surveillance (continue et organisée).

1.3. La réparation :

Toute opération consistant à remettre partiellement ou totalement un ouvrage dans un état de service attendu constitue une réparation. Une réparation doit être précédée :

- d'investigations.
- d'un diagnostic.
- d'une réflexion sur le choix du type de réparation.
- d'une étude approfondie des différentes phases de la réparation, tenant compte notamment des conditions d'exploitation et servant à définir les conditions de réception et de contrôle de l'efficacité de la réparation dans le temps.

1.4. Organisation des actions de surveillance [2]:

1.4.1. Le contrôle périodique :

- a) **Objectifs** : Le contrôle périodique s'applique à tous les ouvrages d'art notamment les équipements s'ils ne font pas la même année l'objet d'une autre action (Inspection Détaillée Périodique ou exceptionnelle).
- b) **Périodicité** : Ce contrôle est voulu simple ; il est donc réalisé sans moyens d'accès. En revanche la périodicité est généralement courte ; un an à trois ans maximum.
- c) **Modalités** : Le contrôle périodique définit ici est un principe général ; la dénomination des contrôles périodiques, leur portée et leur périodicité sont variables suivant les méthodes de gestion appliquées et les choix du maître d'ouvrage. A titre indicatif, sur routes nationales.
- d) **Prescriptions** : Les objectifs sont de permettre de :
 - constater des désordres graves présentant une menace.
 - permettre de relever la nature des travaux d'entretien courant et des petits travaux d'entretien spécialisé à réaliser.

Le contrôle périodique doit obligatoirement faire l'objet d'un constat qui mentionne :

- l'identification de l'ouvrage.
 - la date de la visite.
 - les anomalies constatées ainsi que les signes d'évolution manifeste.
- e) **Réalisation** : Ce contrôle est fait, sans moyen d'accès spécial, par les agents désignés par le gestionnaire et ayant reçu une formation ou par un prestataire spécialisé. Il nécessite la connaissance du patrimoine et des ouvrages. Il peut être fait à l'occasion des opérations d'entretien courant (nettoyage) et permet de programmer d'autres interventions telles que l'ensemble des actions d'entretien courant et des travaux spécialisés.

1.4.2. Les inspections détaillées périodiques :

- a) **Objectif** : est d'établir un bilan de santé de l'ouvrage inspecté ; des actions générales relatives à l'entretien courant ou spécialisé peuvent alors être définies. Au contraire du contrôle annuel, l'inspection détaillée se veut exhaustive et, en conséquence, nécessite la mobilisation de moyens d'accès. Sa périodicité est faible ou moyenne.
- b) **Champ d'application** : Ouvrages portés sur la liste arrêtée chaque année par le maître d'ouvrage.
- c) **Périodicité** : La périodicité normale est de 6 ans. Elle peut être ramenée à 3 ans pour les ouvrages sensibles ou malades ou portée à 9 ans pour les ouvrages les plus robustes. Cependant, tous les ouvrages devraient bénéficier d'une inspection détaillée sur une période de dix ans au maximum.
- d) **Modalités** : Cette action de surveillance nécessite l'intervention de personnel spécialisé et de matériel particulier. La réalisation se fera de préférence par un prestataire spécialisé au moyen de marchés de prestations intellectuelles.
- e) **Prescriptions** : L'objectif est de vérifier :
 - que les dispositifs assurant la sécurité des usagers sont dans un état acceptable.
 - qu'il n'y a pas de désordres apparents menaçant la sécurité.

1.5. Entretien des équipements [2]:

Il concerne les chaussées et équipements.

1.5.1. Chaussée :

La chaussée d'un pont est constituée d'un revêtement en béton bitumineux mince, posé sur la chape d'étanchéité. Celle-ci garantit le bon état de l'ouvrage. Il est impératif d'éviter la moindre détérioration de la chape ; si une atteinte y a été portée, elle doit être confirmée par l'inspection d'un spécialiste en ouvrages d'art pour faire procéder à la réparation par une entreprise spécialisée.

✚ Dégradation :

Nid de poule, arrachement localisé du revêtement.

✚ Interventions nécessaires :

Bouchage provisoire éventuel par enrobés à froid et définitif par béton bitumineux à chaud.

✚ Moyens nécessaires :

Camion, compresseur, matériaux chaud.

✚ Mode opératoire :

- Découper les bords du trou pour éliminer les parties endommagées.
- Eliminer l'eau.
- Remplir le trou par le matériau choisi puis le compactage.



Figure III. 1:Entretien de la chape d'étanchéité d'un tablier [8].

1.5.2. Trottoirs, bordures, réseaux [2]:

+ Fonction :

Les trottoirs permettent la circulation des piétons et contiennent éventuellement des réseaux, les bordures servent de fil d'eau et évitent que les véhicules ne franchissent le trottoir. Constitution : trottoirs pleins (béton maigre, sable...) ; revêtus (béton, enrobés, asphalte) ou creux.

+ Dégradations :

- *Bordures déplacées* : chocs de véhicules, infiltrations d'eau, flexion du tablier.
- *Affaissement des nids de poule* : dans le revêtement des trottoirs.
- *Désordres sur les réseaux* : fuites, corrosion des supports.
- *Dépôts de matériaux en bordure de chaussée* ou dans les caniveaux, gênant l'évacuation des eaux et entraînant la stagnation et les risques d'infiltration dans l'ouvrage.

+ Interventions nécessaires :

- *Bordures déplacées* : mise en place d'une signalisation, intervention d'entretien spécialisé à prévoir après analyse des causes.
- *Affaissement, nids de poule* : réparation pour assurer la sécurité des piétons.
- Alerter le concessionnaire dès l'apparition du désordre pour qu'il assure l'entretien ou la remise en conformité de son réseau.
- Balayage manuel ou mécanique avec balayeuse aspiratrice.

+ Moyens nécessaires :

Gants, pelle, béton, matériaux enrobés.

+ Mode opératoire :

- enlèvement de la bordure gênante et balisage.
- boucher les trottoirs après avoir déterminé la cause de la dégradation pour effectuer la réparation définitive ultérieure.
- Manuellement, décoller les dépôts plus ou moins adhérents, puis balayage.



Figure III. 2: Entretien des trottoirs et bordures [2].

1.5.3. Appareil d'appui [3]:

Les opérations d'entretien courant doivent être exécutées chaque année, en particulier sur culées et dans toutes les zones où s'accumulent des déchets divers. Cette intervention doit être programmée et elle peut être utilement combinée avec le contrôle annuel à effectuer dans le cadre de la surveillance organisée.

La plupart du temps, des signes extérieurs révèlent ces dysfonctionnements. Une surveillance spécifique de ces dispositifs ne peut être envisagée sans une analyse globale du mode de fonctionnement réel de l'ouvrage. Avant de procéder à une inspection dans les détails et afin d'en préciser les points de contrôle, il convient de procéder aux vérifications suivantes :

- S'assurer de l'absence de désordres apparents dans la structure au niveau du tablier et :
ou des piles et culées au voisinage des appareils d'appui (apparition de fissuration)
- Vérifier l'absence de modification de la géométrie de l'ouvrage au voisinage du joint de chaussée.
- Contrôler qu'il n'existe pas de décalage ou de déformation des garde-corps.
- Vérifier qu'il n'y a pas de bruits anormaux lors de passage des véhicules.

L'état des bossages ou dés d'appui est aussi évalué, la surveillance porte en particulier sur :

- La présence d'armatures apparentes (bossage en béton armé)
- La détérioration des bossages (fracture, épaufrure).
- Les défauts de contact ou de planéité.
- La désolidarisation du bossage et de la structure.
- Éclatement du bossage inférieur.

✚ Dégradations [8] :

- Des glissements relatifs et décollement des feuilletts.
- distorsion excessive de l'appareil d'appui.
- Capacité de rotation dépassée.
- Des ruptures ou de traces d'oxydation des plans de frettage.
- Des fissurations diverses de l'élastomère.
- D'extrusion de l'élastomère.



Figure III. 3: Distorsion d'un appareil d'appui [8].



Figure III. 4: Eclatement du bossage inférieur [8].

✚ Désordres [3]:

- *Désordres liés à la fabrication :*

Les désordres liés à des vices de fabrication sont très exceptionnels : La rupture fragile de l'appareil d'appui.

- Le décollement de la feuille d'acier inoxydable rapportée sur sa tôle support.
- Pour les AEF, les imperfections de fabrication conduisent fréquemment à des défauts d'aspect sans autre conséquence qu'esthétique.

- *Désordres liés à la mise œuvre :*

- Quel que soit le type d'appareil d'appui, la mise en œuvre est à l'origine de nombreux désordres observés sur les ouvrages d'art.

✚ Cause [3] :

Dans la pratique les dysfonctionnements importants d'une structure sont rarement provoqués par une seule cause, ils sont le plus souvent le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs défavorables :

- *Choix du type de l'appareil d'appui :*

Un produit mal adapté à sa fonction peut être à l'origine de désordres importants. Le choix du type de l'appareil d'appui, en générale confié au projeteur est une étape importante dans l'étude d'une structure. Les erreurs les plus courantes sont liées à une connaissance

imparfaite des produits retenus dont les caractéristiques ou principe de fonctionnement peuvent être incompatibles.

- *Dimensionnement :*

Le dimensionnement peut aussi parfois être erroné, cela provient souvent de la non prise en compte des phrases de construction et les imperfections de la mise œuvre, ce qui conduit à une sous-estimation des rotations.

1.5.4. Avaloires, grilles et évacuation des eaux [2]:

- + Dégradation :

- Obturations des dispositifs d'évacuation des eaux.
- Stagnation de l'eau sur la chaussée avec détérioration des appareils d'appuis.
- Poussée de la végétation.
- vieillissement prématuré des structures et équipements.

- + Intervention nécessaires :

- Nettoyage périodique.
- Débouchage des dispositifs d'évacuation d'eau.

- + Moyens nécessaires :

Crochets, balai, pelle, cuve à eau.

- + Mode opératoire :

- Nettoyage superficiel
- Nettoyeur haute pression.



Figure III. 5: Nettoyage et débouchage des évacuations des eaux [2].

1.6. Réparation des équipements:

1.6.1. Chape d'étanchéité :

La couche de roulement nécessite une reprise sur toute l'épaisseur, Ceci implique qu'on ne peut pas se limiter à une couche de surface de quelques centimètres.

En effet, l'enlèvement des couches provoque des effets sur la chape d'étanchéité (griffures, efforts de cisaillement, etc.) et, en outre, il paraît intéressant de profiter de cette intervention lourde pour repartir pour une nouvelle période de vie de l'ouvrage avec une étanchéité remise à neuf. Pour l'étanchéité, il importe que le support soit adapté pour recevoir

la nouvelle chape d'étanchéité prévue par le Maître d'œuvre. A l'exception de l'enlèvement des couches et de la remise en état du support, la mise en œuvre d'une nouvelle chape d'étanchéité est exécutée comme sur un ouvrage neuf.

Sur l'adaptation à un état du support médiocre, on notera l'intérêt des systèmes «**d'étanchéité inverse**» quand la qualité de l'état de surface n'autorise pas la mise en œuvre adaptée d'une chape sans une préparation du support longue et coûteuse. Ce système consiste en une couche de micro enrobé de quelques centimètres (2 à 3 cm) qui va servir de support à la chape, en général une feuille préfabriquée bitumineuse; des bicouches ou des monocouches asphalte ont aussi été mises en œuvre avec succès.

1.6.2. Appareil d'appui :

a) La réparation des appareils d'appui et de leur environnement Vérinage:

Le vérinage est l'opération qui permet de soulever le tablier d'un ouvrage d'art pour :

- Un recalage des appareils d'appui ou une reprise de distorsion.
- Des interventions sur la zone d'appui.
- Le changement à l'identique ou le remplacement des appareils d'appui.

Le vérinage doit faire l'objet d'une étude spécifique par un organisme spécialisé, cette dernière doit comprendre un certain nombre de points, notamment :

- La vérification de l'absence de liaisons entre appui et tablier (ex : section rétrécie de béton, appareils anti-soulèvement, canalisation).
- le relevé des emplacements possibles pour les vérins et les calages de sécurité,
- la définition des types de vérins utilisables.
- la détermination des efforts à reprendre tant dans la structure que dans les vérins et les capacités de la structure à les supporter.
- les dénivellations admissibles entre les différents appuis.

b) Recalage des appareils d'appui :

- Un recalage des appareils d'appui peut être nécessaire pour :
remettre les appareils d'appui dans la position prévue lors des études en fin de travaux.
- annuler les distorsions dues au retrait et au fluage dans les premiers mois de la vie de l'ouvrage.
- améliorer le fonctionnement de l'ouvrage en remettant les appareils d'appui dans leur position théorique au cours de la vie de l'ouvrage.

c) Remplacement des appareils d'appui :

Cette opération peut être de diverses natures :

- le remplacement à l'identique si les désordres sont essentiellement dus à des problèmes de vieillissement, (même type, même format).
- le changement des appareils d'appui :
 - remplacement par des appareils d'appui de même type, mais de dimensions différentes.
 - remplacement de petits appareils à pots par des appareils d'appui en caoutchouc.

d) Création de bossages d'appareils d'appui :

Certains ouvrages anciens ne présentent pas de bossage ni d'emplacement prévus pour le vérinage. S'ils présentent des désordres dus au mauvais fonctionnement des appareils d'appui, il faut intervenir et créer des bossages. Dans ce cas, il faut réaliser un relevage définitif du tablier.

Certaines dégradations auraient pu être évitées ou atténuées par un minimum de surveillance et d'entretien qui ne demandent pas de grands moyens matériels et financiers.

Conclusion :

Évaluation des différentes méthodes d'entretien et de surveillance sur les équipements de ponts ainsi que les méthodes de réparation des désordres qui affectent les ouvrages.

Le chapitre prochain portera sur une inspection d'un pont; les désordres ainsi que les causes.

Chapitre III

Cas d'étude du pont TAFOURAH

1. Cas d'étude du pont de TAFOURAH [11] :

Dans cette partie je vais présenter les résultats de visite des ponts de TAFOURAH. Je vais essayer d'établir une liste des défauts et des causes les plus fréquemment rencontrés au niveau de ces ouvrages d'art.

1.1. Localisation :

L'ouvrage de **Tafourah** est situé sur la Route Nationale RN 05 (point kilométrique 2+000), à Alger centre. Cet ouvrage permet principalement de franchir deux voies ferrées à la hauteur de la Grande Poste ainsi que des voies d'accès à un stationnement localisé entre les ponts 2 et 3.

1.2. Description générale de l'ouvrage :

L'ouvrage est constitué de trois structures, soit les ponts #1, #2 et #3. Cependant, l'étude ne porte que sur les ponts #2 et #3, qui sont identiques à quelques exceptions près.



Figure III. 1 : Ponts de TAFOURAH [11].

1.2.1. Pont 2 :

Le pont 2, est constitué de deux sous-structures : une sous-structure de cinq travées continues, située entre l'axe 1 et 6, et une autre de deux travées continues, couvrant les axes 6 à 8. Ce pont, possède une courbe verticale et un élargissement courbe débutant dans la travée 5 (soit à trois mètres de l'axe 6) et se terminant à l'axe 8.

1.2.2. Pont 3 :

Le pont 3, est constitué de deux sous-structures : une sous-structure de cinq travées continues située entre les axes 1 et 6, et une autre de deux travées continues, couvrant les axes 6 à 8. Ce pont, possède une courbe verticale et un élargissement courbe débutant dans la travée 5 (soit à huit mètres de l'axe 6) et se terminant à l'axe 8.

Le tableau suivant présente les différentes caractéristiques des ponts 2 et 3 :

Tableau III. 1: Caractéristique géométriques des ponts 2 et 3.

	Longueur	Largeur	Épaisseur de la dalle	Trottoir droit	Trottoir gauche	Garde ceps	Élément d'appui
Pont 2	114	10,6	0,8	0,95	0,95	1,05	Pile culée en BA
Pont 3	114	12,5	0,8	4,3	0,95	1,05	Pile culée en BA

1.3. Résultats des inspections et essais :

1.3.1. Pont 2 :

 Appareil d'appui :

Il y a présence d'appareils d'appui seulement aux axes 1, 6 et 8, soit aux extrémités des deux sous-structures. Cependant, il a été impossible de déterminer la nature des appareils d'appui de l'axe 8 à cause de l'espace trop restreint (± 10 mm) entre le dessus de l'assise et le dessous de la dalle. Aux autres axes, la dalle épaisse est solidaire des colonnes de sorte qu'il n'y a pas d'appareils d'appui.

À l'axe 6, il y a deux séries d'appareils d'appui, une série pour chacune des deux sous-structures. Il a parfois été difficile de déterminer avec exactitude les dimensions des appuis à cause de l'accès restreint et de la déformation ou de l'écrasement de ces derniers. Les dimensions illustrés dans le tableau suivant sont approximatives et peuvent être différentes de la réalité :

Tableau III. 2: Les caractéristiques des appareils d'appui et observations lors d'une inspection pont 2.


Éléments		Largeur (mm)	Profondeur (mm)	Épaisseur (mm)	Observations
Appareil d'appui	Axe 1	400	400	50	Appareils d'appui A, B, C, D : Corrosion légère des frettes métalliques.
	Axe 6	300	/	40	Appareils d'appui A, B, C, D : Corrosion moyenne et déformation des frettes métalliques, ainsi qu'un renflement (déformation par ondulation entre les frettes)
	Axe 8	Le système d'appui n'a pas été inspecté car l'accès est restreint.			

 Trottoirs :

Les deux trottoirs sont constitués d'une rangée de carreaux de dallage de 500 mm de largeur par 600 mm de longueur. À plusieurs endroits, le joint entre deux carreaux est non étanche. Les défauts relevés sont : la butée entre deux carreaux, ce qui provoque un rehaussement (déformation), l'éclatement ou la fissuration du béton des carreaux.

Les endroits où des défauts ont été répertoriés sont les suivants :

- **Trottoir Est** : Un carreau dans la travée 1, sept dans la travée 3 et deux dans la travée 5
- **Trottoir Ouest** : Un carreau dans la travée 6 et trois dans la travée 7.

 Surface de roulement :

La surface de roulement est en enrobé bitumineux. Les principaux défauts observés sont une désagrégation légère généralisée et des ondulations moyennes généralisées. Ces deux défauts sont présents sur toute la longueur du pont.

 Drainage :

L'inspection du drainage a porté sur trois points, soit le drainage du tablier, les drains eux-mêmes et les descentes de drainage.

À première vue, le pont ne semble pas avoir de couronne sur la surface de roulement afin que l'eau du tablier se draine de façon adéquate. Cette impression a été confirmée par le relevé de topométrie.

Lors de l'inspection, il a été possible de relever sept drains, dont deux situés au début de la travée 2, deux à la fin de la travée 5 et trois à la fin de la travée 7 (dont un des trois drains est localisé sur le terre-plein central). Les deux drains de la travée 5 sont obstrués par des déchets et de la terre. Toutes les descentes de drainage sont fissurées, cassées ou inexistantes.

1.3.2. Pont 3 :

 Trottoirs :

Les deux trottoirs sont constitués d'une rangée de carreaux de dallage de 500 mm de largeur par 600 mm de longueur. Le trottoir Est est élargi par une dalle en béton de 3,22 mètres. À plusieurs endroits, le joint entre deux carreaux est non étanche.

Les défauts relevés sont : la butée entre deux carreaux ce qui provoque un rehaussement (déformation), l'éclatement ou la fissuration du béton des carreaux.

Les endroits où des défauts ont été répertoriés sont les suivants :

- **Trottoir Est** : Deux carreaux dans la travée 1.
- **Trottoir Ouest** : Deux carreaux dans la travée 3, un dans la travée 4 et un dans la travée 5.

 Surface de roulement :

La surface de roulement du pont 3 est un enrobé bitumineux. Le principal défaut observé est une désagrégation légère qui est présent sur environ 40 % de la surface de roulement.

+ Appareil d'appui :

L'emplacement des appareils d'appui est le même que celui du pont 2, Les dimensions illustrés dans le tableau suivant sont approximatives et peuvent être différentes de la réalité.

Tableau III. 3: Les caractéristiques des appareils d'appui et les observations lors d'une inspection (Pont 3).

Éléments		Largeur (mm)	Profondeur (mm)	Épaisseur (mm)	Observations
Appareil d'appui	Axe 1	400	400	50	Appareil d'appui A : Corrosion moyenne et déformation des frettes métalliques, ainsi qu'un renflement. Appareils d'appui B, C et D : Corrosion moyenne des frettes métalliques.
	Axe 6 Appui A	300	300	30	Appareils d'appui A : Corrosion moyenne et déformation des frettes métalliques
	Axe 6 Appui B,C,D	500	300	50	Appareils d'appui B et C : Corrosion légère des frettes métalliques. Appareil d'appui D : Corrosion très importante et déformation des frettes métalliques
	Axe 8	Le système d'appui n'a pas été inspecté car l'accès est restreint.			

+ Drainage :

L'inspection du drainage a porté sur trois points, soit le drainage du tablier, les drains mêmes et les descentes de drainage.

À première vue, le pont ne semble pas avoir de couronne sur la surface de roulement afin que l'eau du tablier se draine de façon adéquate. Cette impression a été confirmée par le relevé de topométrie.

Lors de l'inspection, il a été possible de relever sept drains, dont deux situés au début de la travée 2, deux à la fin de la travée 5 et trois à la fin de la travée 7 (dont un des trois drains est localisé sur le terre-plein central). Les deux drains au cours d'eau Ouest des travées 2 et 5 sont obstrués par de l'enrobé bitumineux de sorte qu'ils ne sont pas perceptibles du dessus du tablier. Le drain au cours d'eau Ouest de la travée 7 est obstrué par des déchets et le grillage d'acier est manquant. Toutes les descentes de drainages sont fissurées, cassées ou inexistantes.

1.4. Travaux de réhabilitation :

Les travaux de réhabilitation sur l'ouvrage TAFOURAH (2 et 3) ont été réalisés par l'entreprise ERROA spécialisé dans ce type de travaux (réhabilitation et protection du béton, renforcement des structures, entretien des équipements de pont) et qui sont résumés comme suit :

1.4.1. Court terme :

a) Travaux de réparation des trottoirs :

- Option 1 : Changer et colmater tous les carreaux de dallage de tous les trottoirs qui sont endommagés sur les deux ponts.
- Option 2 : Éliminer tous les carreaux de dallage des trottoirs et remplir les cavités de béton avec, si requis, l'ajout de conduits de câbles électriques incorporés.

b) Travaux de réparation du drainage :

- Nettoyage de tous les drains obstrués partiellement ou totalement par des déchets ou de l'enrobé bitumineux.
- Installation ou remplacement de toutes les descentes de drainages de tous les drains.

c) Travaux de réparation des appareils d'appui :

- Remplacement des appareils d'appui de même type et dimension.
- Changement du type d'appareil d'appui.

1.4.2. Moyen terme

Les travaux de réhabilitation proposés, à moyen terme, sur l'ouvrage TAFOURAH (2 et 3) sont résumés ci-après :

- Pose de bandes de membrane d'étanchéité de 600 mm de largeur sur le dessus de la dalle à l'endroit de chaque joint froid, sur toute la largeur de la voie carrossable lors du remplacement complet de la surface de roulement.
- Remplacement des appareils d'appui de l'axe 6 des deux ponts, incluant ceux non inspectés.
- Peinturage de l'ensemble des garde-corps de l'ouvrage.

1.5. Entretien préventif

En plus des travaux de réhabilitation, à court et moyen termes préconisés sur l'ouvrage, il est recommandé de mettre en place un programme d'entretien préventif de l'ouvrage afin de lui assurer une longévité optimale. Les interventions minimales à inclure à ce programme sont les suivantes :

- Nettoyage de l'assise de la culée 1 des deux ponts à tous les cinq ans ;
- Nettoyage au jet d'air de la garniture enclenchée de tous les joints de dilatation, idéalement à tous les ans, mais au minimum à tous les trois ans ;

- Inspection sommaire de l'ouvrage à tous les cinq ans afin de prendre conscience de l'avancement des dégradations, de la propagation de défauts et de l'apparition de nouveaux défauts nécessitant une intervention planifiable ou d'urgence.

1.6. Inspection après le séisme du 21 mai 2003 :

La plus part des principaux défauts relevés lors de la première inspection ont été revus afin de vérifier si ceux-ci avaient été affectés par le séisme du 21 mai 2003. Mis à part pour la finition intérieure à certains endroits, aucune variation n'a pu être constatée. Autant en ce qui concerne leur nature que leur étendue, aucun changement n'a été décelé sur les défauts initiaux affectant la structure.

L'inspection additionnelle réalisée a permis de constater que l'ouvrage n'a été que très peu affecté par le séisme. L'aspect général de l'ouvrage ainsi que quelques défauts ou détériorations déjà constatés n'ont pas subis de modification notable. Des mouvements de l'ouvrage ont été engendrés par le séisme mais l'absence de dommages additionnels indique que ces mouvements ont été relativement faibles et que la structure s'est très bien comportée.

La stabilité et la résistance de l'ouvrage n'ont nullement été mis en cause par le séisme et aucun travail de confortement ou de réparation d'urgence n'est requis.

1.6.1. L'origine des défauts et leurs impacts sur la durabilité de l'ouvrage :

La présente partie explique l'origine des défauts observés et leurs impacts sur la durabilité et l'intégrité structurale de l'ouvrage.

Les causes des désordres sont les mêmes pour le pont 2 et 3 :

a) Appareil d'appui :

- ✚ Corrosion des frettes métalliques des appareils d'appui des axes 1 et 6, car les frettes sont à nu dans un environnement corrosif (air salin).
- ✚ Infiltration d'eau provenant des joints, de sorte que les frettes métalliques se corrodent davantage et continueront de s'oxyder à un rythme plus important que ceux des appuis de l'axe 1. Cette oxydation produit des déformations de l'appareil d'appui, responsables des déformations des frettes métalliques.
- ✚ Le renflement (déformation par ondulation entre les frettes) des côtés de l'élastomère est causé par le fluage du matériau et par la corrosion des frettes.

b) Trottoirs :


Les différents dommages aux trottoirs (joint non étanche entre deux carreaux, butée entre carreaux, éclatement et fissuration du béton des carreaux) permettent l'infiltration d'eau directement sur le dessus de la dalle. Par la suite, l'eau ruisselle et s'infiltrer au travers des fissures de retrait ou dans des endroits où le béton est plus poreux et perméable. L'eau, qui dissout les dépôts de matières se déposant sur le pont, contient des ions chlorures et autres contaminants qui attaquent l'équilibre électrochimique existant dans le béton, provoquant ainsi un début de corrosion des armatures supérieures.

CONCLUSION :

On conclue que :

Une vue générale sur le pont de TAFOURAH 2 et 3 ne s'appuie que sur des observations visuelles.

Evaluation des principales causes de dégradation des équipements de pont dans tous les cas étudiés qui sont dus essentiellement à l'absence d'entretien et de surveillance.



Conclusion générale

Conclusion générale

La démarche proposée dans ce mémoire nous a aidées à comprendre l'importance de la surveillance, de la maintenance et de la réparation des équipements des ouvrages d'art en Algérie. Ceci nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

Dans la 1ère partie, on s'est contenté :

- ✓ d'identifier les différents types d'équipements des ouvrages d'art.
- ✓ d'identifier les moyens qui permettent de diagnostiquer les pathologies.
- ✓ d'identifier les solutions de réparation ou maintenance et gestion les plus adaptées aux plans technico-économiques.

Dans la deuxième partie on est arrivé aux constatations suivantes:

- ✓ Une vue générale sur les ouvrages d'art ne s'appuie que sur des observations visuelles.
- ✓ La cause principale de la dégradation dans tous les cas étudiés, est due à l'absence d'entretien. Certaines dégradations auraient pu être évitées ou atténuées par un minimum d'entretien qui ne demande pas de grands moyens matériels et financiers.

Il est devenu urgent d'envisager à court terme une politique nationale d'entretien avec planification de budget substantiel pour préserver ce patrimoine.

Les cas des équipements dégradés ou réparés peuvent constituer une orientation pour mieux concevoir la construction de nos ouvrages d'art en tenant compte de toutes éventualités.

Les perspectives peuvent s'articuler autour des axes suivants :

- ✓ Des études sur les matériaux et les techniques de réparation du point de vue faisabilité et durabilité.
- ✓ Proposer des systèmes de gestion des ouvrages d'art dans les quelle on peut intégrer les différents types d'enjeux : humains, économiques, environnementaux, financiers, sociaux et politiques, etc.
- ✓ étudier profondément la problématique de la durabilité des ouvrages d'art en Algérie, d'un manier permettant l'élaboration des facteurs influant cette durabilité a travers les différentes régions.



Bibliographie

- [1].Entretien et réparation des équipements de pont, (Généralités sur les équipements) une édition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES) / novembre 2009.
- [2]. Surveillance et entretien courant des ouvrages d'art routiers, Setra service d'étude sur les transports, les routes et leurs aménagement, juillet 2011.
- [3].Maintenance et réparation des ponts, école pont et chaussé, J.Armand CALGARO/ 1976.
- [4]. Entretien et réparation des équipements de pont (Etanchéités) une édition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES) / novembre 2009.
- [5]. Entretien et réparation des équipements de pont (Appareils d'appui) une édition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES) / novembre 2009.
- [6].CALGARO J-A. Projet construction des ponts-Généralités, Fondations, appuis, ouvrages courants. Nouvelle 2dition-Presses des Ponts et Chaussées (2000).
- [7]. Guide pour la surveillance et l'entretien courant des ouvrages d'art liés à la voirie ou son exploitation à l'usage des communes et des communautés de communes, Direction départementale des Territoires, juin 2012.
- [8]. Setra service d'étude sur les transports, les routes et leurs aménagement, désordres des appareils d'appui.
- [9]. Fiche n° X-1 "Mise en œuvre des chapes d'étanchéité", Mémento pour la mise en œuvre sur ouvrages d'art – MEMOAR – Collection de fiches techniques, Chapitre X : Les étanchéités, Révision : février 2010.
- [10]. Thèses de Master « La Gestion de l'entretien et la réparation des équipements des ponts » Université Mohamed Khider – Biskra Juin 2013.
- [11].Inspection et essais sur le Pont de **TAFOURAH**, document de la part de Mme CHERID.