



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCA/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTERACADEMIQUE

Filière : Travaux Publics

Spécialité : V.O.A

Thème

**ETUDE D'ENTRETIEN ET MAINTENANCE D'UN OUVRAGE D'ART
CAS DU PONT AU NIVEAU DE STIDIA RN11 - MOSTAGANEM**

Présenté par :

- Mr BENTOUMI MOUSSADAK
- Mr BENDOUNAN ABD EL-RAHMANE

Soutenu le 12/07/2022 devant le jury composé de :

Président : Mr KERAOUTI Rabah

Examineur : Mr SABEUR Bendehiba

Encadrante : Mme GUERZOU Tourkia

Co-Encadrant : Mr ZELMAT Yassine

Année Universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالَ رَبُّ بِحَبَابِكَ لِأَعْلَامِنَا الْإِمَامِ عَلَيْنَا
إِنِّي أَنْبَأْتُ الْعَالِمَ الْحَكِيمَ

صِدْقِ اللَّهِ الْعَظِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Nous remercions avant tout ALLAH de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude.

Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur **Mme GUERZOU Tourkia**, qui nous a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique et par expérience et sa compétence.*

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, et aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leur encouragement.

En fin, nos vifs remerciements aux membres de jury et à son président avec qui nous allons soutenir ce mémoire et juger de sa qualité.

Résumé

Il devient fondamental de s'intéresser à la construction des ponts, notamment après les inégalités en matière de conservation des ouvrages. Entre les ouvrages récents et les plus anciens force est de constater que l'état de préservation n'est pas le même. Il s'agit alors de se pencher sur l'état des ponts en général, de ce fait les facteurs de dégradations, le processus de réhabilitation et de rénovation, les causes qui engendrent les détériorations constatées et le diagnostic sur lequel repose toutes ses interventions seront les principaux piliers de cette recherche. A chaque dégradation il est vital de poser un diagnostic qui puisse dégager la cause et la solution à adopter. Pour ce faire l'étude se penchera sur le cas du trémie de stidia.

Mots clés : Ponts, Pathologie, Maintenance, entretien, Diagnostic, Dégradation, Réparation.

Abstract

It is becoming essential to focus on bridge construction, especially after the inequalities in the conservation of structures. Between the recent works and the oldest ones, it is clear that the state of preservation is not the same. It is then a question of looking at the condition of bridges in general, thus the factors of deterioration, the rehabilitation and renovation process, the causes that lead to the deteriorations found and the diagnosis on which all its interventions are based will be the main pillars of this research. With each degradation it is vital to make a diagnosis that can identify the cause and the solution to adopt To do this the study will look at the case of the stidia hopper.

Keywords: Bridges, Pathology, Maintenance, Maintenance, Diagnosis, Degradation, Repair.

ملخص

أصبح من الضروري التركيز على بناء الجسور، خاصة بعد عدم المساواة في الحفاظ على الهياكل. بين الأعمال الأخيرة والأعمال الأقدم، من الواضح أن حالة الحفظ ليست هي نفسها. وتتمثل المسألة عندئذ في النظر في حالة الجسور بشكل عام، وبالتالي فإن عوامل التدهور، وعملية إعادة التأهيل والتجديد، والأسباب التي تؤدي إلى التدهور الذي تم العثور عليه والتشخيص الذي تستند إليه جميع تدخلاته ستكون الركائز الأساسية لهذا البحث. مع كل تدهور، من الضروري إجراء تشخيص يمكنه تحديد السبب والحل الذي يجب اعتماده للقيام بذلك، ستنظر الدراسة في حالة القافز ستيديا

الكلمات الرئيسية: الجسور، علم الأمراض، الصيانة، الصيانة، التشخيص،

تدهور، إصلاح

SOMMAIRE

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralité sur les ponts	
Définition.....	4
Eléments principaux d'un pont.....	4
Classification des ponts.....	6
Conclusion.....	9
CHAPITRE II : Pathologie des Ponts	
ACTIONS ET PATHOLOGIES AGISSANTS SUR LES PONTS.....	11
Action de l'eau.....	11
Action mécanique de l'eau.....	11
Action des acides.....	12
L'attaque Sulfatique.....	13
L'alcali-Réaction.....	13
Attaque des Chlorures.....	15
Carbonatation.....	15
La corrosion.....	17
Les Chocs.....	19
Action Sismique.....	20
La Fatigue.....	21
Le Retrait du Béton.....	22
Défauts d'exécution.....	22
Défauts de chaussées.....	24
CHAPITRE III : Dégradation – Cause - Solution	
INTRODUCTION.....	28
Dégradation – Cause – Solution.....	28
CHAPITRE IV : Cas d'étude – Trémie de Stidia	
DESCRIPTION DE L'OUVRAGE	37
LOCALISATION DE L'OUVRAGE	38
EXPERTISE VISUEL ET DETAILLE DE L'OUVRAGE AVEC LE DIAGNOSTIQUE.....	39
A) EXPERTISE VISUELLE.....	39

B) EXPERTISE DETAILLEE.....	47
ENTRETIEN ET REHABILITATION A PREVOIR.....	51
Conclusion générale.....	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II	
Tableau : Les différentes types des défauts de chaussé et les causes probables de leurs Apparitions	24
CHAPITRE III	
Tableau : des dégradations subis par un pont, leurs causes et le mode d'entretien possible	28

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I	
Figure 1: Vue longitudinale d'un pont type.	4
Figure 2: Tête des pieux en cours de recépage	4
Figure 3: Appuis du pont	5
Figure 4: Tablier d'un pont à poutre	5
Figure 5: Appareil d'appui sous une poutre.	6
Figure 6: Pont droit.	7
Figure 7: Pont biais.	7
Figure 8: Pont courbe.	8
Figure 9: Passage Supérieur. (PS)	8
Figure 10: Passage Inférieur. (PI)	8
CHAPITRE II	
Figure 1: Phénomène d'affouillement au pied d'une pile de pont	12
Figure 2 : Mécanisme des attaques par les acides	12
Figure 3 : Exemples des structures attaquées par les sulfates. Dommages causés par la thaumasite L'effritement et l'efflorescence	13
Figure 4: Exemples des dommages occasionnés par RAG.	14
Figure 5: Piqure profonde causée par une attaque de chlorure.	15
Figure 6 : Les différentes dégradations causées par le choc	19
Figure 7 : Carte de zonage sismique de l'Algérie	20
Figure 8: Exemples des dommages induits par le séisme	21
Figure 9 : Quelques exemples des Défauts d'exécution	23
CHAPITRE IV	
Figure 1 : Photo de l'ouvrage prise par satellite	38
Figure 2 : Photo de l'ouvrage	38
Figure 3 : Vue en élévation du mur frontal de la culée côté Mostaganem	39
Figure 4 : Vue en élévation du mur frontal de la culée côté d'Oran	40
Figure 5: Vue de dessous de l'ouvrage au droit de la jonction des deux tabliers transversalement	40
Figure 6: Vue de détail des infiltrations des eaux de pluie au droit des contours des réservations prévues pour le drainage de l'ouvrage	41
Figure 7: Vue de détail des aciers dénudés au droit du mur garde-grève à la jonction des deux tabliers transversalement	41

Figure 8: Vue de détail d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre principale en travée sur culée côté Mostaganem et Oran	42
Figure 9: Vue de détail de l'accumulation des débris des pigeons sur le sommier d'appui de la culée	43
Figure 10: Vue de l'extérieur du point de jonction entre les deux tabliers côté localité de Stidia et plage de Stidia	43
Figure 11: Vue de détail du joint de chaussée sur culée	44
Figure 12: Vue de détail au droit de la jonction tablier-culée	44
Figure 13: Vue sur les corniches côté localité de Stidia	45
Figure 14: Vue sur les corniches côté localité de Stidia	45
Figure 15: Vue de détail du trottoir en amont côté localité de Stidia	46
Figure 16: Vue d'ensemble et de détail des montants du garde-corps sur trottoir côté localité de Stidia	46
Figure 17: Essai sclérométrique horizontal	50
Figure 18: Essai ultrasonique de surface (transmission indirecte)	51

Introduction Générale

En Algérie , il est aisé de constater que l'infrastructure du transport est jeune

On remarque par ailleurs que les ouvrages récents en comparaison aux anciens de plus d'un siècle sont moins bien conservés. Les 5000 ponts qui se dressent à travers le pays souvent symbole technique et historique ne sont pas dans le même état. Comme cité plus haut les ouvrages récents présentent une importante détérioration. La construction de ces derniers reposent sur du béton armé qui au cours des années s'use de différentes manières, le pont ne devient alors plus usuel et perd sa valeur symbolique

C'est en partant de ce constat que nous nous sommes penchés sur un pont en particulier situé à stidia.

Il sera donc question de se questionner sur le processus de détérioration et les facteurs dont ils découlent, comment réhabiliter et rénover de manière adéquate en prenant en considération l'aspect financier. Mais également comment prévenir une détérioration des ouvrages et de trouver les failles qui mènent à ces dégâts.

Chapitre I

Généralité sur les ponts

Définition

Un pont est un ouvrage d'art pour lequel une voie de circulation franchit un obstacle naturel ou une autre voie de circulation terrestre, fluviale ou maritime. Dans la pratique on parle d'un ouvrage d'art pour désigner un pont.

a) Eléments principaux d'un pont.

Un pont comporte généralement trois catégories d'éléments : les fondations, les appuis, le tablier, et les appareils d'appui.

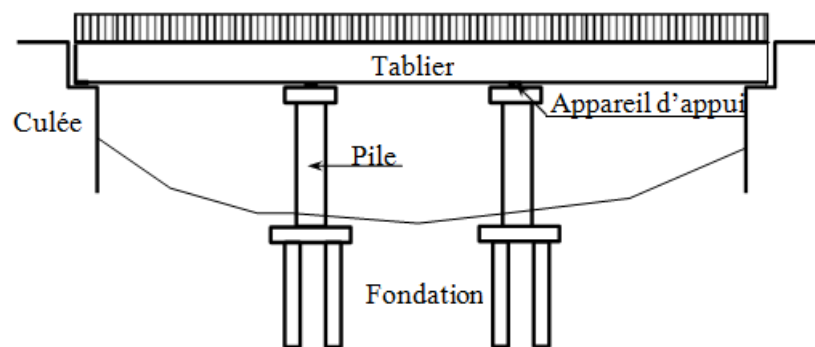


Figure 1: Vue longitudinale d'un pont type. [16]

➤ **Fondation:** C'est un système au moyen duquel l'ouvrage repose sur le sol et lui transmet les charges qu'il reçoit. Suivant la nature du sol, les fondations sont superficielles (semelles isolées ou filantes) ou profondes (pieux ou barrettes). Dans ce deuxième cas, les fondations sont surmontées par une semelle de liaison.



Figure 2: Tête des pieux en cours de recépage.[16]

➤ **Appuis:** Ils supportent l'ouvrage jusqu'au niveau des fondations. On distingue deux types d'appuis : les culées, qui sont les appuis extrêmes, et les piles, qui sont les appuis intermédiaires. Un appui peut être composé par un ou plusieurs voiles ou par des colonnes surmontées par un chevêtre.



Figure 3: Appuis du pont. [16]

➤ **Tablier:** C'est un élément sur lequel repose la voie de circulation. Il comprend la couverture (revêtement) et la partie de l'ossature sensiblement horizontale situé sous la voie portée. Le tablier comporte essentiellement des dalles. En plus, il peut comporter des poutres principales et des éléments secondaires (des entretoises ou pour les plus anciens ponts des longerons).



Figure 4: Tablier d'un pont à poutre. [16]

Le tablier comporte aussi tout les équipements indispensables à l'utilisation, au fonctionnement et à la durabilité du pont. Ces équipements comportent les dispositifs de retenue (tel que les gardes corps et les séparateurs), les joints de chaussée, les systèmes d'étanchéité, la couche de roulement, les trottoirs, les corniches, les systèmes d'évacuation des eaux, la dalle de transition, etc.

➤ **Les appareils d'appui :** le tablier repose sur les appuis à l'aide des appareils d'appui qui permettent le déplacement horizontal et vertical du tablier sous l'effet des charges. Les appareils d'appui les plus employés de nos jours sont en élastomère fretté.



Figure 5: Appareil d'appui sous une poutre.

b) Classification des ponts

Il existe plusieurs critères de classification des ponts que l'on utilise couramment pour définir, en première analyse, un ouvrage, et de rechercher comment on pourra le réaliser dans les meilleures conditions techniques et économiques.

1. Suivant leur destination

Suivant leur destination, on distingue les ponts suivants :

- Ponts-routes : sur lesquels passent les routes et autoroutes.
- Ponts-rails : sur lesquels passent les chemins de fer.
- Ponts-canaux : sur lesquels passent des voies de navigation intérieure.
- Ponts-aqueducs : sur lesquels passent les canalisations d'eau.
- Passerelles à piétons : sur lesquels passent les piétons.
- Ponts pour avions : dans les aéroports.

Les ponts routes et les ponts-rails sont les plus répandus en Algérie.

2. Suivant la nature de leurs matériaux employés

Ce classement tient compte des matériaux utilisés pour les éléments porteurs principaux (tablier). Cette classification nous permet de comprendre l'évolution historique des ponts.

- **Ponts en lianes** ; ce sont des ponts primitifs, rarement existant de nos jours. Mais on peut les trouver comme des passerelles dans certains pays.
- **Ponts en bois.**
- **Ponts en maçonnerie (pierre)** ; La pierre résiste bien à la compression. Ces ponts sont souvent construits en arc. Certains ponts datent de l'époque romaine.
- **Ponts métalliques**; La technique des ponts en métal a évolué avec l'amélioration de la fabrication de la fonte, puis du fer et enfin de l'acier.

- **Ponts en Béton Armé (BA)** ; le BA est le matériau le plus employé en Algérie étant donné son coût assez économique par rapport aux autres types.
- **Ponts en Béton Précontraint (BP)**, ce type de ponts commence à être compétitif notamment pour les ponts sur les oueds (pour minimiser le nombre d'appui dans le lit d'oued) et surtout en employant la préfabrication sur le chantier.
- **Ponts mixtes (BA/Charpente ou Maçonnerie/BA (ou BP))** ; ce type de pont présente en général un appui en BA ou en maçonnerie avec un tablier en charpente ou en BA.

3. Suivant leur disposition en plan

Ce classement tient compte de l'implantation par rapport aux lignes d'appuis transversales (ligne passant par l'axe des appareils d'appui).

- **Pont droit :**

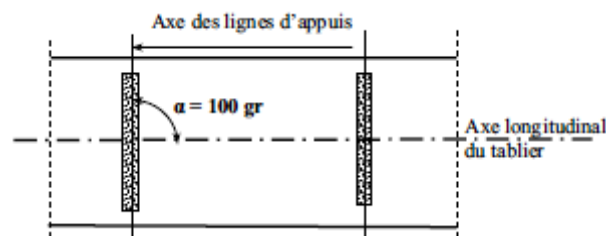


Figure 6: Pont droit.

- **Pont biais :** L'angle de biais est défini comme l'angle exprimé en grade compris entre l'axe longitudinal du tablier et les lignes des appuis. La nécessité de recourir à de tel ouvrage est dictée par le tracé de la route en traversant un obstacle. Si cet obstacle (oued, route ou chemin de fer par exemple) est biais par rapport à la route alors l'ouvrage est conçu biais de manière à avoir des appuis parallèles à la direction du flux (eaux ou véhicules).

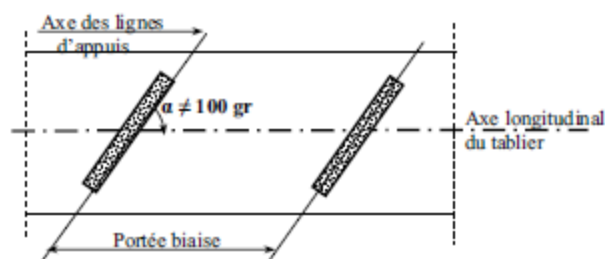


Figure 7: Pont biais.

- **Pont courbe :** L'axe de la voie portée est courbe (en plan).

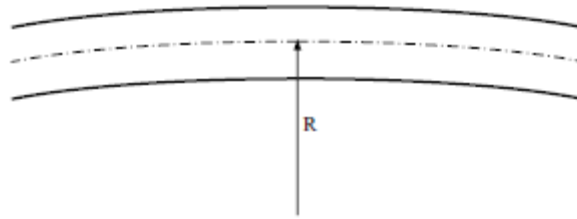


Figure 8: Pont courbe.

4. Suivant leur niveau de passage

- **Pont de passage supérieur** ; Le pont est placé en dessus de la voie principale prise comme référence tel qu'une autoroute ou la voie à construire

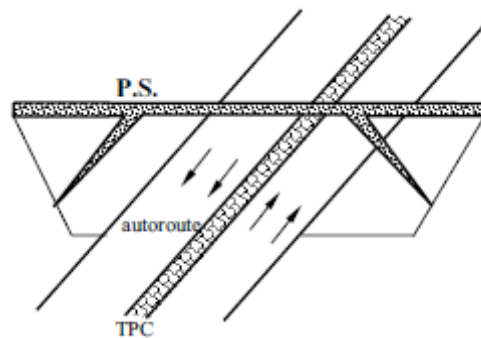


Figure 9: Passage Supérieur. (PS)

- **Pont de passage inférieur** ; Le pont est placé en dessous de la voie de référence

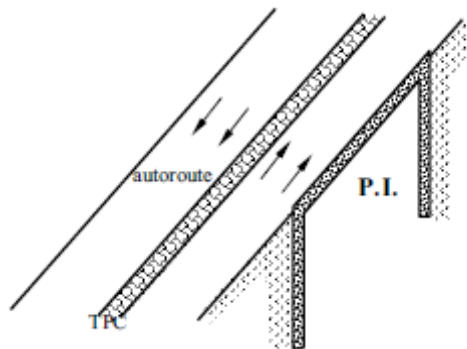


Figure 10: Passage Inférieur. (PI)

5. Suivant la mobilité de leur tablier

- **Pont fixe.**
- **Pont mobile;** Un pont mobile est nécessaire si l'obstacle franchi représente des eaux navigables. On distingue 4 types de ponts mobiles suivant la direction du mouvement de la partie mobile.
 - ✓ **Pont levant** : la travée est encadrée par deux pylônes et attaché à des câbles ou à des chaînes passant sur des poulies placées au sommet de ces pylônes.

- ✓ **Pont tournant** : Le tablier pivote dans son plan horizontal, autour d'un axe vertical (à une ou deux volées).
- ✓ **Pont basculant** : Le tablier pivote autour d'un axe horizontal.
- ✓ **Pont levis** : Ce type de pont bascule comme dans le cas des ponts basculants, mais ces ponts sont plutôt soulevés par des tirants de levage (rotation par rapport à un axe horizontal).

Conclusion

La construction d'un pont est une entreprise complexe qui requiert des connaissances et une expertise particulières. De nombreux facteurs entrent en jeu, comme les contraintes techniques, les coûts et les impacts environnementaux, au moment de décider du type de pont à construire et des méthodes pour ce faire.

Chapitre II
Pathologie des Ponts

ACTIONS ET PATHOLOGIES AGISSANTS SUR LES PONTS

- **Action de l'eau [1]**

Le béton n'est pas le seul matériau sensible aux processus physiques et chimiques de dégradation liée à l'eau, il faut donc généralement tenir compte des propriétés de l'eau en tant qu'un agent majeur de destruction des matières solides. L'eau existe sous diverses formes telles que l'eau de mer, les eaux souterraines, les rivières, les lacs, la neige, la glace et la vapeur sont sans doute les liquides les plus abondants dans la nature. Les molécules d'eau sont très petites et donc capables de pénétrer dans des pores ou cavités très fins. En tant que solvant, l'eau est connue pour sa capacité à dissoudre plus de substances que tout autre liquide connu. Cette propriété explique la présence de nombreux ions et gaz dans certaines eaux, qui à leur tour contribuent à provoquer la dégradation chimique des matériaux solides.

- **Action mécanique de l'eau [1]**

Les Affouillements

Se produit autour des supports de pont implantés dans les canaux des rivières et autour des fondations lorsque la vitesse de l'eau est élevée et que l'eau qui s'écoule est constituée d'un mélange biphasique de phases liquide et solide. L'action de l'eau est si violente qu'elle peut mettre à nu les massifs de fondation et déstabiliser le bâtiment, toute la structure est emportée ou endommagée, et le remblai d'accès souvent non protégé est emporté, créant des points d'arrêt sur des axes clés. De tels problèmes se posent dans la pratique

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

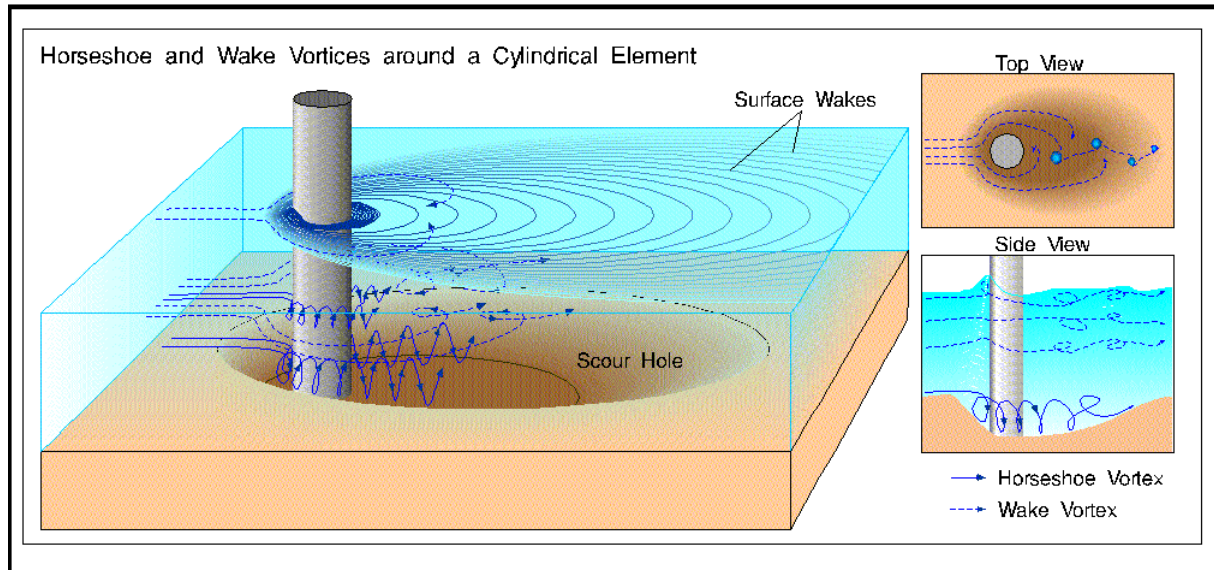


Figure 1: Phénomène d'affouillement au pied d'une pile de pont

- **Action des acides**

L'action des acides sur le béton durci traduit par la transmutation des composés de calcium (Hydroxyde de calcium hydraté de calcium, le silicate et d'aluminate de calcium hydraté) aux sels de calcium.

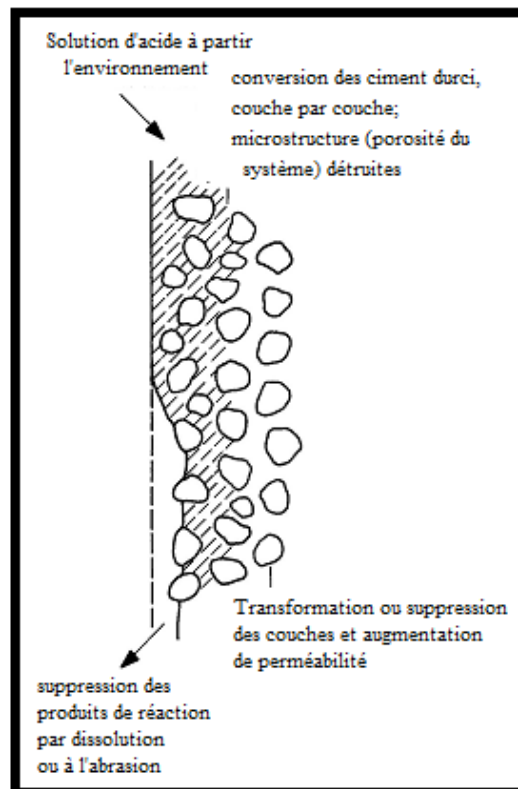


Figure 2 : Mécanisme des attaques par les acides

Bien que nous puissions penser que l'agressivité de l'acide est la cause du taux de réactions des différents acides avec le béton

Il en résulte que le principal facteur est la solubilité du sel de calcium.

- **L'attaque Sulfatique**

Le phénomène à l'origine de l'attaque des sulfates n'est pas entièrement compris ni maîtrisé, il est lié à la précipitation de produits sulfatés secondaires, à un gonflement important et à une détérioration chimio-mécanique. Cela peut conduire à une destruction plus ou moins importante du matériau cimentaire, selon l'érosion (nature, teneur et concentration des sulfates mis en contact) et le ciment utilisé (type et rapport eau/ciment). Nous distinguons l'attaque interne du sulfate, qui implique le sulfate déjà présent dans le béton. Plus précisément, une attaque de sulfate externe qui se produit une fois que les conditions externes sont remplies.

Les produits résultants de l'attaque [2]

Trois types de composés peuvent se former en fonction de la concentration en sulfate de l'eau, du pH environnant, et de la température: **L'ettringite, Le gypse et La thaumasite.**



Figure 3 : Exemples des structures attaquées par les sulfates. Dommages causés par la thaumasite L'effritement et l'efflorescence

- **L'alcali-Réaction**

L'alcali-réaction (dénommée aussi RAG) dans les bétons est une réponse des minéraux siliceux à un déséquilibre chimique avec le milieu ambiant interne du béton. Les ouvrages affectés par cette pathologie peuvent être : les ponts et viaducs, les tunnels, les barrages, les écluses, les stations d'épuration, les châteaux d'eau, les dallages industriels et plateformes, les autoroutes béton, les bassins de rétention...

Le plus souvent, l'ouvrage rendu sera impropre à sa destination ou sera susceptible de causer des accidents corporels (fissures et gonflements sur voiries béton). Les désordres engendrent en outre des problèmes de gestion et d'exploitation.

Le contexte économique et l'épuisement des ressources naturelles font que la meilleure « qualité » de matériau (en particulier granulats) n'est plus forcément disponible localement. D'autres produits peuvent être employés moyennant la mise en place de précautions d'utilisations assumées et probantes.

Les différents types de réactions

- ✓ Réaction Alkali-silice (ASR) (la plus fréquente) [4]
- ✓ Réaction alcali-silicate [3]
- ✓ Réaction alcali-carbonate



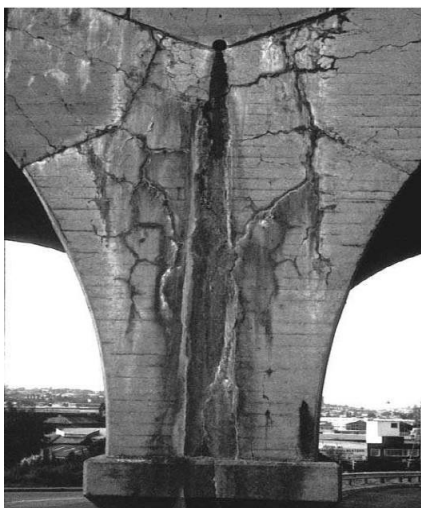
a) Tablier d'un pont [39]



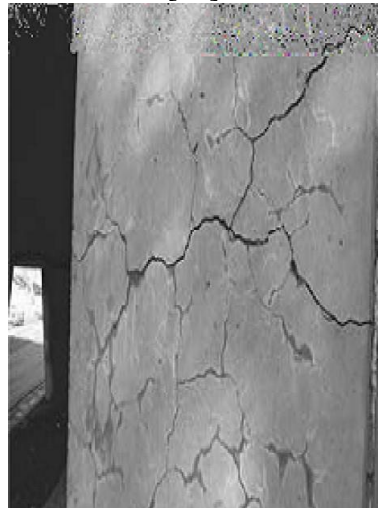
b) Déplacement sur appui du au allongement du tablier [39]



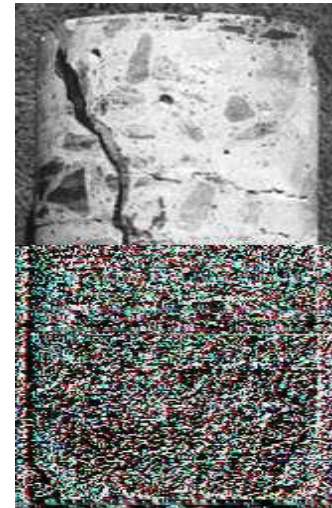
c) Rupture d'un acier passif [54]



d) Fissuration orientée dans le sens des contraintes



e) Surface de fissuration de la colonne d'un pont



f) Carotte enlève a partir d'une structure endommagée par RAG

Figure 4: Exemples des dommages occasionnés par RAG.

• Attaque des Chlorures

C'est pendant le processus de gâchage que les chlorures de l'intérieur attaquent en premier le béton, la seconde source d'attaque est remarquée par un déplacement de l'extérieur vers l'intérieur du béton. Les chlorures de sources internes existent en raison des éléments suivants:

- ✓ En utilisant l'eau de mer dans le béton ;
- ✓ En utilisant du chlorure de calcium dans les additifs nécessaires pour accélérer le temps de prise ;
- ✓ En utilisant des agrégats qui contiennent des chlorures ;
- ✓ En utilisant des additifs qui ont une teneur plus élevée en chlorure de celle qui est définie dans la spécification normative ;
- ✓ Dans les cas où l'eau utilisée dans le mélange de béton a un nombre plus élevé d'ions chlorure à celle autorisée par les normes. Les chlorures peuvent se propager à l'intérieur de béton de l'environnement externe par :
 - ✓ béton exposées à des embruns de l'eau de mer ou une exposition continue à l'eau salée
 - ✓ l'utilisation du sel de déverglace.

L'impact des chlorures provient majoritairement de sources externes, mais c'est lors de la présence de chlorures dans l'eau de gâchage que se produit l'effet des chlorures sur les structures

A titre d'exemple lorsque le mélange de béton contient de l'eau de mer



Figure 5: Piqure profonde causée par une attaque de chlorure.

• Carbonatation

La réaction chimique des gaz de dioxyde de carbone et des constituants de la pâte de ciment hydratée telle que : La portlandite, les silicates de calcium hydratés, les chloro-aluminates et les sulfo-aluminates nous donne la carbonatation.

A l'image d'autres gaz le dioxyde de carbone pour réagir avec la majorité des hydrates du ciment se dissout dans l'eau et se transforme en acide faible

Contrairement à la plupart des autres acides, l'acide carbonique n'attaque pas la pâte de ciment, mais neutralise les alcalis dans l'eau interstitielle, en particulier le carbonate de calcium.

Les facteurs influents sur la carbonatation

La réaction de carbonatation se déroule de l'extérieur vers l'intérieur du béton, elle diminue le taux en fonction des caractéristiques du béton (porosité, type de ciment, etc.)

Accélère considérablement le taux de carbonisation. Après environ 30 ans, la profondeur de carbonatation du béton peut généralement varier entre 1 mm et 30 mm, selon le béton et l'environnement.

- ✓ La propagation rapide du CO_2 à l'intérieur du béton
- ✓ Le rapport E/C très élevé se qui implique une porosité excessive du matériau en zone superficielle
- ✓ L'ouverture des fissures : elles accélèrent également le transport des CO_2
- ✓ Un enrobage insuffisant
- ✓ Une humidité relative suffisante

Effets de la carbonatation :

a) Béton

La carbonisation est considérée comme ayant un effet positif du seul point de vue du béton, une porosité plus faible entraînant une résistance mécanique plus élevée et limitant la pénétration de substances érosives. On parle d'un effet appelé « colmatage » des pores.

- ✓ Les réactions de carbonatation de la portlandite conduisent à une augmentation de volume de la phase solide, cette augmentation conduit à la diminution du volume poreux du béton.
- ✓ La diminution de porosité associée à la carbonatation engendre une augmentation de résistance mécanique. La calcite consolide la microstructure, il est en effet bien connu que le carbonate de calcium est un excellent liant, ce qui assure l'essentiel de la résistance mécanique des mortiers de chaux

b) Armatures

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

l'intérieur du béton, forme du carbonate de calcium , à partir de cela la valeur du pH sera réduite à un niveau ($\text{pH} < 8$) ce qui provoque la corrosion des armatures

- **La corrosion**

Il a été démontré à travers plusieurs études qu'après avoir dépassé le seuil des 80% les dégradations du béton armé sont dues à la corrosion des armatures.

Cependant C'est à cette dernière que revient le plus grand budget en matière d'activités d'entretien et de renouvellement des ouvrages de génie civil.Ce qui nous pousse à repenser ce phénomène pour éviter dans une structure de béton la corrosion des barres d'acier. Pour ce faire l'identification de l'origine des désordres observés sur les ouvrages et la connaissance des mécanismes de corrosion permettrait de déterminer les techniques de réparation et de réhabilitation à adopter

Le mécanisme de Corrosion

La corrosion représente une attaque destructrice d'un métal par une réaction électrochimique qui se traduit par le déplacement d'ions et d'électrons à l'interface métal/solution à la surface du métal.

Deux types de réactions couplées correspondent au processus de corrosion/oxydation, ont lieu

- ✓ **Une réaction anodique [5]**

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

- ✓ **Une réaction cathodique [5]**

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

Facteurs influents de la corrosion

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

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

- ✓ La carbonatation
- ✓ Les ions de chlorures : la concentration critique des ions...etc.

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

Influence de la composition du béton : Tout ce qui conditionne la solution interstitielle et la porosité du béton est un facteur pouvant affecter ou non la corrosion le type et la teneur en liant, les additions minérales et le rapport E/C (Eau/Ciment) déterminent la performance d'un béton, le choix de la formulation du béton et de la nature de ses principaux constituants constitue une approche pour augmenter la résistance à la corrosion du béton. Toutes modifications de la formulation d'un béton produisant une augmentation de sa compacité ou une réduction de sa perméabilité ont généralement un effet favorable sur la résistance à la corrosion.

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

Les ajouts minéraux, en faibles quantités, tel que les cendres volantes et les fumées de silice qui ont généralement une influence bénéfique puisqu'elles produisent une très nette diminution de la perméabilité, du coefficient de diffusion et de la conductivité du béton, l'augmentation de la compacité provoquée par les ajouts minéraux, utilisés en quantité suffisante, peut de plus annuler largement les effets néfastes de la diminution du pH interne et de la moins grande quantité d'aluminate tricalcique

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

L'influence de la fissuration sur la corrosion

- ✓ La présence des fissures facilite la pénétration rapide des agents agressifs par le béton d'enrobage jusqu'aux armatures qui sont aussitôt dépassivées.[6]
- ✓ Les expériences des ouvrages montrent que les fissures parallèles aux barres sont plus dangereuses que les fissures perpendiculaires. [7]

✓ Les fissures accélèrent la corrosion induite par le chlorure en augmentant la pénétrabilité du béton, en général, l'augmentation de taux de la corrosion est proportionnelle à la largeur des fissures, mais elle est sensible à la qualité du béton. Pour un type de liant et E/C donné, la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de largeur des fissures, alors que pour une largeur de fissure donnée, la vitesse de corrosion diminue quand la qualité du béton augmente.

- **Les Chocs**

Il s'agit généralement d'une attaque mécanique effectuée par des chocs,

Les collisions fréquentes de poids lourds surdimensionnés sous les ponts, les collisions de navires ou d'objets flottants dans le fleuve ainsi que les collisions de véhicules avec des barrières constituent une autre source importante de vibrations.

Un dommage dû aux ondes de choc est caractéristique, les éléments du béton sont épaufrés et laissent généralement à nu le cadre d'armatures, les cassures sont fraîches et non altérées, les armatures ne sont pas corrodées, en plus, les épaufrures résultant sont profondes et ils n'ont pas l'aspect d'un écaillage, de plus, l'ouvrage est généralement soumis à des impacts (quais ou pont) ce qui fait qu'un tel dommage est immédiatement suspect.



Figure 6 : Les différentes dégradations causées par le choc

• Action Sismique

La situation géographique de l'Algérie signifie que certaines parties de notre pays peuvent être certifiées comme zone d'activité sismique. La dernière charge sismique subie par la Région de Bumerdes en 2003 de magnitude Mw 6.8, en ont apporté l'ultime preuve. Elle a également, provoqué la discussion sur la prise en compte du risque sismique dans le dimensionnement des ouvrages d'art afin d'éviter les effondrements catastrophiques et limiter le degré d'endommagement. En fait, l'intégration de la recherche sismique est encore entièrement nouvelle, avec la première réglementation sismique pour les ouvrages de génie civil algérien rédigée en 2006

Les ponts sont classés selon leur importance : [8]

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

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

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

Le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité croissante :

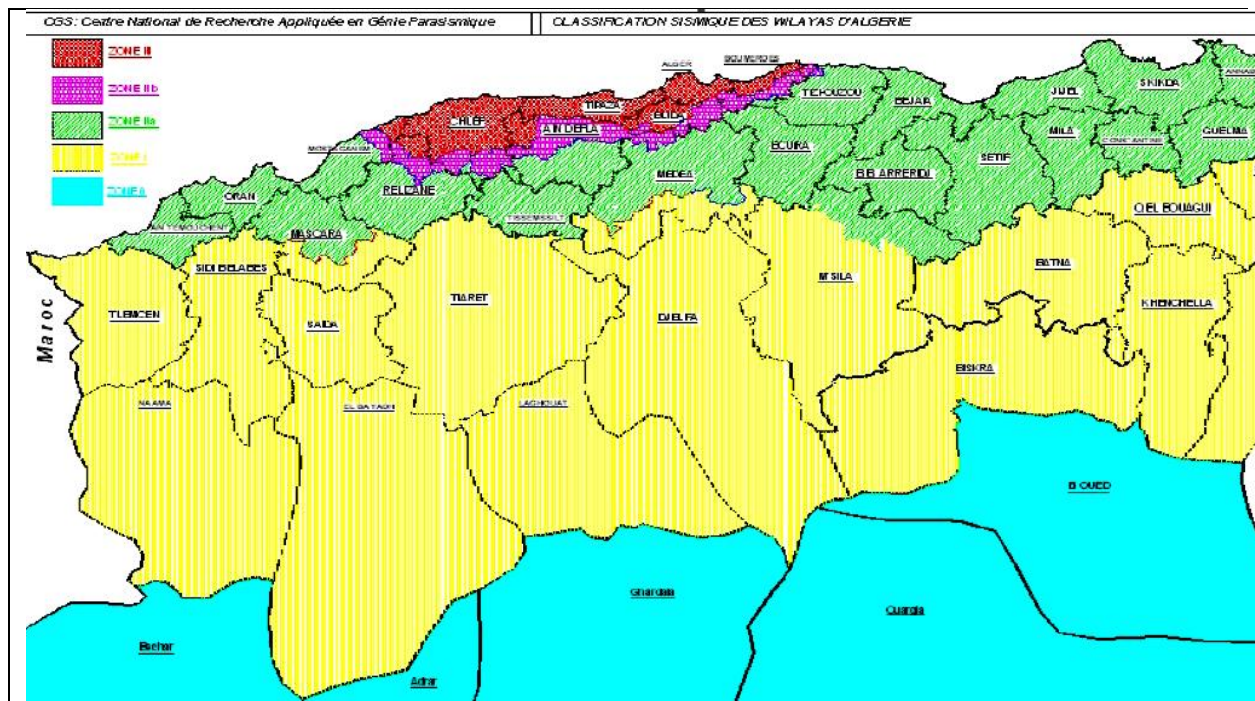


Figure 7 : Carte de zonage sismique de l'Algérie.[8]

Zone 0 : négligeable,	zone I : faible,	zone IIa : moyenne,
zone IIIb : élevée,	zone III : très élevée.	

Les dommages induits par le séisme directement [9]

Concernant les dommages, ils sont de quatre types :

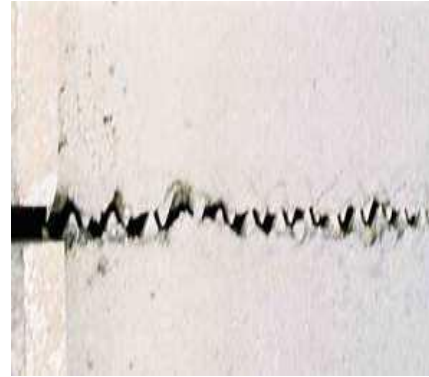
- Affaissements des chaussées par rapport à l'entrée ou à la sortie du pont (a)
- Ouvertures des joints de chaussées. (b, c)
- Endommagement des bloqueurs de déplacements latéraux (d)
- Déplacements et translations des poutres de tabliers, (e)
- Endommagement des appareils d'appuis (f)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 8: Exemples des dommages induits par le séisme [9]

• La Fatigue [10]

Il est logique que les ponts soient potentiellement vulnérables aux dommages dus à la fatigue, car le trafic routier et ferroviaire génère des fluctuations de contraintes périodiques d'intensité et de fréquence élevée. Pour les ponts routiers, ce phénomène ne dépend pas de la charge des essieux légers, mais nombre d'entre eux ne le sont pas. Il ne dépend pas non plus des essieux très rares et très lourds. Par conséquent, la charge dominante est la charge intermédiaire.

Les tabliers à dalle orthotrope sont particulièrement exposés.

Types endommagements par fatigue:

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

• **Le Retrait du Béton**

Dès que vous mélangez le béton et que vous l'observez, cela ressemble à ceci s'il n'y a pas de force externe, le volume changera.

Cette propriété, qui a pris le nom de retrait, est à l'origine de désagréments de toutes sortes que les constructeurs connaissent bien. Il est, en réalité, la résultante de mouvement complexe.

Les causes du retrait : [11] [12]

- Les quantités d'eau et de ciment
- La présence d'ajouts minéraux, entre autres de fumée de silice qui produisent un réseau poreux plus fin
- Le volume de la pâte
- Le module élastique des granulats
- La nature et la finesse du ciment
- La quantité d'armature dans la pièce du béton
- Les conditions de la cure telle que l'humidité et la température
- Les conditions dues au béton : sa consistance ; la granulométrie et la forme des agrégats, la méthode de mise en œuvre

Les effets du Retrait

Dans tous les cas, la principale conséquence du retrait est l'apparition de phénomènes de fissuration qui peuvent réduire la durabilité des ouvrages en béton armé ou précontraint et/ou limiter leur capacité portante, notamment lorsqu'ils apparaissent en mottes.

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

• **Défauts d'exécution**

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

✓ Une mauvaise formulation du béton qui engendre une porosité trop élevée ; c'est le cas d'un surdosage en eau ou d'un sous dosage en ciment. Une porosité très importante du béton est assurément le facteur le plus nuisible pour sa durabilité ; elle facilite en effet la circulation des eaux et des solutions agressives au sein du matériau, et favorise la corrosion des armatures

✓ Mauvaise exécution des coffrages : outre les défauts de parement engendrés par des coffrages de piètre qualité ; l'absence d'écarteurs de coffrage peut entraîner une insuffisance d'enrobages et la création de nids de cailloux ou de défaut de bétonnage par « effet de bouchon» des gros granulats coincés entre les armatures et le coffrage , des nids de cailloux peuvent aussi être provoqués par des fuites de laitance aux joints entre coffrages.

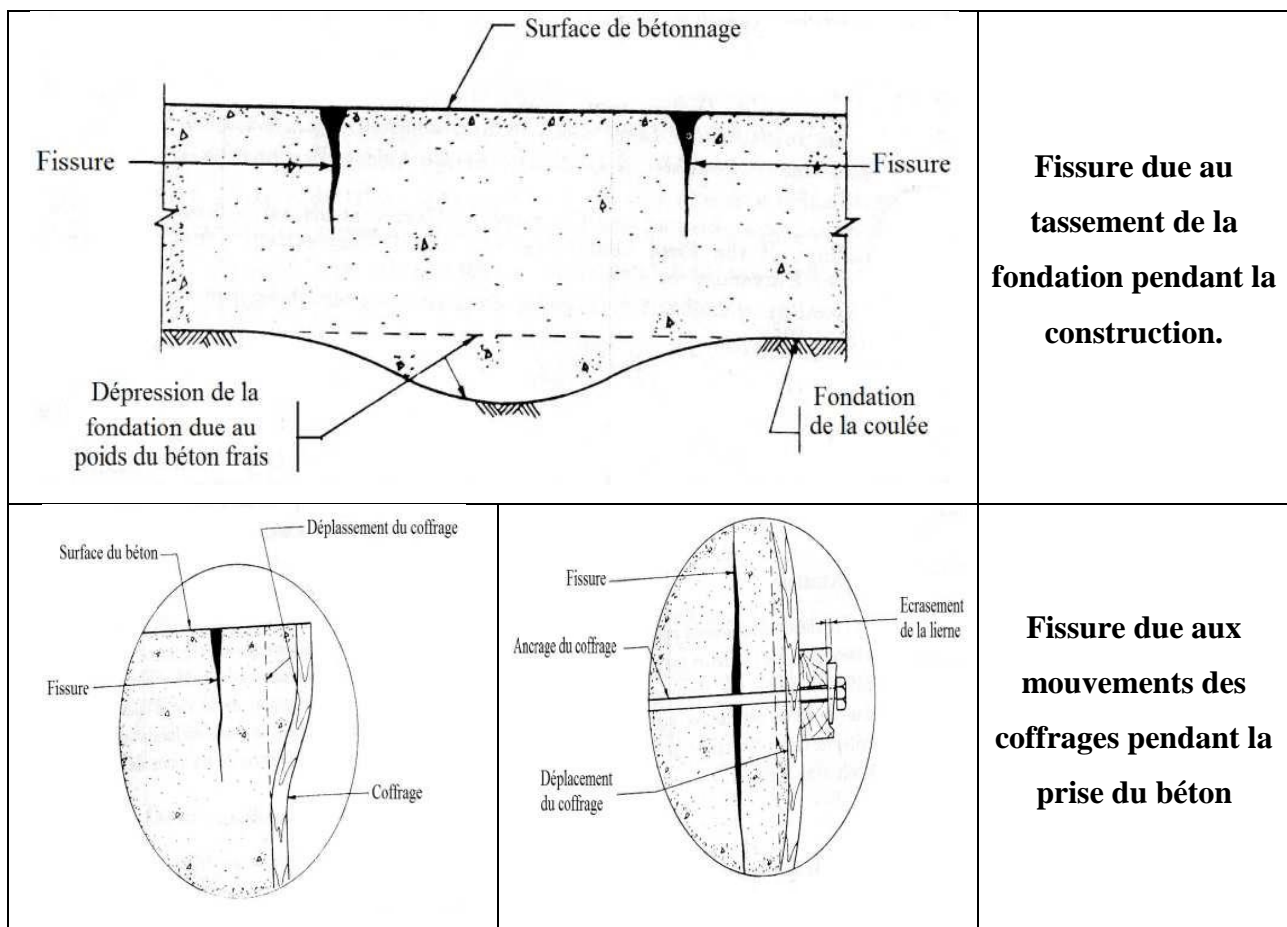


Figure 9 : Quelques exemples des Défauts d'exécution

✓ Mauvaise disposition des armatures : le manque de recouvrement des armatures est probablement le défaut le plus courant, et l'insuffisance d'enrobage mène tout droit vers la corrosion des aciers qui crée ensuite des fissures parallèles aux armatures, des épaufrures et des éclats.

✓ Mauvaises conditions de transport du béton frais : les mauvaises conditions de transport peuvent remettre en cause la qualité obtenue à la fabrication en favorisant la

ségrégation du béton (variation dans la répartition des éléments), ou en provoquant un raidissement du béton par un départ d'eau résultant d'un délai de livraison trop long ou d'une température extérieure trop élevée.

✓ Mauvaise mise en œuvre du béton : une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité, une ségrégation qui peut nuire à la résistance du matériau, et même des défauts de bétonnage particulièrement dangereux lorsqu'ils affectent le talent des poutres précontrainte par post-tension. ces vibrations peuvent aussi être dues à la circulation des véhicules, au battage de pieux, à des tirs de mines, à un compactage par vibration, ou à une vibration accidentelle causée par des chocs.

✓ Mauvaise manutention d'éléments lourds en béton (exemple des voussoirs préfabriqués de ponts en béton précontraint) peut provoquer des épaufrures et même des cassures de parties appartenant à l'élément (comme les clés d'assemblage).

✓ Mauvaise étanchéité : ce facteur qui se rencontre encore parfois sur les ponts est un élément favorisant de manière importante la dégradation du béton . elle facilite l'apparition d'efflorescences et de stalactites consécutives à une dissolution de la chaux, ainsi que la pénétration d'agents agressifs et son corollaire : la corrosion des aciers.

✓ Ces vibrations importuns peuvent être dues à la circulation des véhicules, au battage de pieux, à des tirs de mines, à un compactage par vibration, ou à une vibration accidentelle causée par les heurts de l'outillage, ou par choc , cette vibration peut nous resautes des fissures produites pendant la prise du béton.

- **Défauts de chaussées [13] [14]**

Tableau : Les différentes types des défauts de chaussé et les causes probables de leurs Apparitions

Dégradations	Causes
Fissurations	<p><u>Pour les structures souples :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mauvaise qualité des matériaux. ✓ Mauvaise mise en œuvre. ✓ Epaisseur insuffisante de la chaussée par rapport au trafic. ✓ Retrait (couche de base traitée au ciment) ✓ Age de la chaussée. <p><u>Pour les structures rigides:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Absence du joint dans le sens axial.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mauvaise composition du béton. <p><u>Dégradation des marches d'escalier</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Action de l'eau. ✓ Compactage insuffisant des rives (enrobés). ✓ Largeur insuffisante de la chaussée.
<p>Déformations</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Affaissement longitudinal, suivant l'axe. ✓ Affaissement longitudinal de rive. ✓ Orniérage à grand rayon ✓ Bourrelet longitudinal ✓ Bourrelet transversal ✓ Flache ✓ Tôle ondulée 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stabilité insuffisante du revêtement (enrobés). ✓ Insuffisance de la stabilité d'enrobés. ✓ Fatigue de la chaussée causée par une circulation lourde et lente. ✓ Eau : perte de portance du corps de chaussée. <p>Matériaux: qualité insuffisante.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre : compactage insuffisant. ✓ Trafic : passage des véhicules trop lourds pour l'épaisseur de la chaussée. ✓ Fluage des enrobés sur toute la surface dans les zones de freinage. ✓ Défaut de portance localisé (poche d'argile humide). ✓ Perte de cohésion localise de la couche de base. ✓ Tassement différentiel du matériau ayant servi au rebouchèrent du nid de poule. ✓ Manque de stabilité d'enrobés. Insuffisance d'épaisseur ou de compacité du tapis d'enrobé.
<p>Arrachement</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pelade ✓ Nid de poule ✓ Plumage ✓ Peignage ✓ Décollement 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualité insuffisante des matériaux déchaussée. ✓ Arrachement des matériaux lors du passage des véhicules. ✓ Stade final de faïençage ou d'une flache. ✓ La perméabilité de la couche de roulement. ✓ Un mauvais accrochage (enduit). ✓ Un sous-dosage en bitume (enrobé). ✓ Mauvais fonctionnement du matériel de répandage lors de la mise en œuvre de l'enduit, qui se

	<p>traduit par un manque de liants ou de gravillons.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre par conditions atmosphériques défavorables. ✓ Attaque du liant « hydrocarboné » par un produit chimique (Argile, sel ...) ✓ Mauvaises conditions d'exécution (surface humide). ✓ Gonflement ou retrait des matériaux de la couche de base.
<p>Remontées</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Remontées d'eau et d'argile ✓ Ressuage 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perte de cohésion au sein d'une chaussée fondée sur un sol argileux ou gorgé d'eau. ✓ Dosage en liant trop élevé. ✓ Liant non adapté. ✓ Utilisation d'un liant mou ou (et) la présence d'une forte chaleur.
<p>Usures de la surface de revêtement</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Glaçage ✓ Tête de chat 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usure des gravillons de revêtement sans qu'ils soient arrachés (utilisation des granulats polissables). ✓ Enfouissement des gravillons dans le support (lors des fortes chaleurs le liant et le mortier recouvrent en totalité les gravillons). ✓ Disparition partielle des matériaux en surface par usure.


Chapitre III
Dégradation – Cause - Solution

INTRODUCTION



Comme toute structure de génie civil, les ponts perdent avec le temps la qualité originelle de leurs matériaux ainsi qu'une partie de la résistance de leurs structures. Ceci est dit même si, aux stades de l'étude et du chantier, ils ont été très bien conçus et réalisés. Cette perte des performances initiales peut être attribuée au vieillissement, à la modification des conditions d'exploitation, et à l'exposition continue aux intempéries et aux charges dynamiques dues au trafic des véhicules lourds (pour les ponts routiers) et des trains (pour les ponts ferroviaires). Des actions accidentelles, tel que le séisme, peuvent également être à l'origine de désordres importants.


Par ailleurs, certains désordres sont le résultat direct d'une dégradation des équipements en raison du manque d'entretien. D'autres sont engendrés par des mouvements du sol support (basculement d'une la fondation, tassement des remblais techniques derrière les culées,...). Les pathologies des ponts ne sont pas identiques pour tous les types de ponts et dépendent des matériaux de construction ; certaines sont communes aux ponts en béton armé et en béton précontraint, d'autres sont spécifiques aux ponts métalliques ou aux ponts en maçonnerie.

Dans ce chapitre, on va décrire les dégradations subis par un pont, leurs causes et le mode d'entretien possible. Le détail a été résumé dans le tableau suivant. [15]



	PHOTOS	DEGRADATIONS	CAUSES	INTERVENTIONS NECESSAIRES
Accès à l'ouvrage		-Talus en mauvais état	-Rigoles, absence de descentes d'eau maçonnées, -Déformation des terrains. -Pente trop abrupte	- Mise en place de descentes d'eau. - Apport de terre et reconstitution d'une surface uniforme. - Reprise par réalisation de plates-formes
		- Stationnement impossible.	-Végétation gênant la visibilité ou l'accès à l'ouvrage	Créer une aire de stationnement pour un fourgon - Supprimer la végétation




<p>Enlèvement d'embâcles</p>		<p>- L'accumulation d'embâcles, corps flottants ou non au droit des brèches hydrauliques réduit la section</p>	<p>-Générer des poussées horizontales importantes pour lesquelles les ouvrages n'ont pas été prévus.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Enlever et récupérer les embâcles au fur et à mesure de leur blocage au droit de l'ouvrage. - Évacuer et récupérer les branches, les branchages ou les arbustes. - Enlever et récupérer les troncs d'arbres, les rouleaux de paille. - Procéder à une veille attentive en cas de coupe de bois à l'amont
<p>Enlèvement d'affiches</p>		<p>- La pollution visuelle</p>	<p>-La couverture des parements des ouvrages par des affiches dissimule l'état de ceux-ci aux yeux des visiteurs d'ouvrages.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Procéder à l'enlèvement des affiches au moins une fois par an, à l'occasion du contrôle annuel.
<p>Enlèvement des graffitis</p>		<p>-Risque d'inscriptions diffamatoires, altération du cadre de vie surtout en milieu urbain.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un enlèvement trop systématique des graffitis peut conduire à augmenter leur fréquence d'application. - On pourra se procéder qu'à l'enlèvement des seuls graffitis à caractère diffamatoire
<p>Nettoyage des chaussées</p>		<p>-Stagnation d'eau et les risques d'infiltration dans l'ouvrage. -Enracinement de la végétation.</p>	<p>-Dépôts de matériaux en bordure de chaussée ou dans caniveau gênant l'évacuation des eaux - Dépôts de déchets en rive (au pied des parapets)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Balayage manuel ou mécanique avec balayeuse aspiratrice.



<p>Joints de chaussée</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Salissures diverses incrustées -Tassement du mortier de calage, éléments bloqués. -Joint à profilé élastomère 	<ul style="list-style-type: none"> -Dépôts empêchant le fonctionnement des joints de chaussée, nettoyage insuffisant, joints insuffisamment autonettoyants, objets divers. -Détérioration due au passage des véhicules. -Écrous ou vis desserrés, élément manquant -Sortie du profilé élastomère de son logement 	<ul style="list-style-type: none"> -balayage de surface. -enlèvement des gravillons et autres éléments bloquants -Prendre des mesures de sécurité immédiate avec neutralisation d'une voie. -faire appel à un spécialiste Ouvrages d'Art pour examiner la situation en vue du changement du joint.
<p>Garde-corps métalliques</p>		<ul style="list-style-type: none"> Fixation défectueuse Attaques de corrosion localisées Problème de dilatation et déformation linéaire suite à accident 	<ul style="list-style-type: none"> Montants des celés par rupture du mortier de scellement. -En pied de montants et lisse inférieure par absence de ventilation. -Suite à des chocs ou à une déficience ponctuelle du dispositif anticorrosion. -Par absence de dispositif au droit des joints de chaussée. -Par blocage par fixation de glissières. 	<ul style="list-style-type: none"> -Faire réaliser un diagnostic par un spécialiste Ouvrages d'Art. -Réparer ou changer ces éléments.
<p>Sommiers de piles et culées</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Encombrement par dépôt de terre ou de sable -Stagnation d'eau 	<p>La stagnation des matériaux en provenance des joints de chaussée et l'imprégnation de ces matériaux par les eaux en provenance du joint sont de nature à endommager les appareils d'appui et à dégrader les matériaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyer périodiquement les sommiers de pile et de culées. -Déboucher les barbacanes et autres dispositifs permettant d'éviter des stagnations d'eau.

			constitutifs de la culée.	
Végétation sur tablier		<ul style="list-style-type: none"> - prendre naissance dans les endroits encombrés de salissures (terre, sable, boue...) ; créer des zones privilégiées de rétention d'humidité ; obstruer des évacuations d'eaux ; porter atteinte à l'étanchéité ; exercer une action chimique d'affaiblissement des liants et parfois des pierres ; 	-La végétation	<ul style="list-style-type: none"> -Arrachage de l'herbe. -Balayage des caniveaux et trottoirs. -Soufflage des joints de chaussée. -Nettoyage des gargouilles. -Ne pas laisser la végétation s'installer.
Végétation Sur Les Perrés		-Un vieillissement accéléré de ces parties d'ouvrages qui contribuent à la stabilité des talus de remblais qu'elles protègent	<ul style="list-style-type: none"> -Le développement de végétation sur les perrés maçonnés abîme les joints. -La prolifération de mousses et lichens dégrade le béton par l'action de la rétention de l'humidité. 	<ul style="list-style-type: none"> -Traiter préventivement, de façon prioritaire. -Procéder à l'élimination de la végétation et traiter pour éviter des repousses trop rapides.
Végétation sur les sommiers de piles et de culées		-Risque de mauvais fonctionnement de l'appareil d'appui, vieillissement prématuré de l'appareil d'appui, dégradation de l'appui dû au développement de la végétation	-Le développement de végétation en sommier de pile et/ou de culée est de nature à dégrader les appareils d'appui et le matériau constitutif de la pile et/ou de la culée.	-Nettoyer les sommiers de pile et de culée pour y enlever toute végétation naissante, tout dépôt de matériau.

<p>Végétation sur les abords</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Créer des rideaux d'arbres, -Réduire les caractéristiques hydrauliques en site aquatique ; -Créer des obstacles favorisant le stockage des boues ; -Déstabiliser un ouvrage malgré son éloignement. 	<p>-La végétation</p>	<p>-Fauchage mécanique régulier lié à l'entretien routier</p>
<p>Nettoyage des avaloirs, grilles et gargouilles</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Stagnation de l'eau sur chaussée. -Pousse de la végétation, infiltrations d'eau dans l'ouvrage ou le tablier. 	<p>-Obturation des dispositifs d'évacuation des eaux.</p>	<p>-Nettoyer périodiquement</p>
<p>Débouchage des collectes et évacuation des eaux pluviales</p>		<ul style="list-style-type: none"> -La stagnation des eaux sur le béton ou les maçonneries avec éventuellement détérioration des appareils d'appui, -Le débordement des eaux, au-delà du dispositif. 	<p>- Le bouchage de ces dispositifs, situés en tête de sommier de culée, plus rarement de pile,</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le bon fonctionnement du système d'évacuation, par exemple lors du contrôle annuel, en déversant de l'eau et en vérifiant que son évacuation s'effectue correctement. -Procéder au débouchage,
<p>Nettoyage des corniches caniveaux</p>		<p>-Empêchement d'écoulement des eaux</p>	<p>-La stagnation de matières solides</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyer périodiquement le dispositif, avant toute accumulation significative. -La périodicité est adaptée à l'ouvrage et dépend des salissures apportées par la chaussée, du bassin versant, du dimensionnement de la corniche, de

				la pente longitudinale de l'ouvrage.
Curage de saignées aux abords des ouvrages		-Les eaux de ruissellement, de part et d'autre de l'ouvrage se concentrent sur l'ouvrage et s'infiltrent éventuellement dans le joint de dilatation.	-Colmatage des saignées, par défaut d'entretien.	- Entretenir ces dispositifs simples, périodiquement, pour éviter leur colmatage et la pousse d'une végétation nuisible à leur bon fonctionnement
Chaussée de pont en maçonnerie		-Nids de poule	-Mauvaise qualité de la chaussée. -Pollution par remontée d'argile du matériau de remplissage des voûtes. -Forte perméabilité de la couche de roulement et dégradation. -Défaut de drainage. -Gel.	-Nécessité d'intervention d'urgence, bouchage par enrobés à froid, grave émulsion, grave bitume ou enrobés à chaud. -Sur chaussée peu circulée emploi possible de graves naturelles GNT avec scellement à l'émulsion de bitume et gravillonnage obligatoire.
		-Flache	-Provient du tassement des matériaux avec fuite éventuelle au travers de la structure	-Inspecter l'état de la route, des tympans, si anomalies prévoir une inspection de l'ouvrage (visite d'évaluation au minimum) -Reprofilage en graves émulsion ou béton bitumineux.
		-Fissures	-Fatigue de la chaussée. -Vieillessement. -Retrait de l'assise traitée. -Joint de reprise du tapis.	-Si fissures fines (< 2 mm d'ouverture) suivre leur évolution. -Si fissures larges (> 2 mm) imperméabilisation de la surface. -Les pontages ainsi que la reprise générale éventuelle de la chaussée devront être réalisés par une entreprise spécialisée.

		-Affaissement	-Provient du mouvement d'un appui.	-Inspecter immédiatement l'ouvrage. - Nécessite une grosse réparation.
Chaussée de Pont a tablier		-Nids de poule	-Arrachement localisé du revêtement.	-Nécessité d'intervention d'urgence. -Bouchage provisoire éventuel par enrobés à froid, bouchage définitif par béton bitumineux à chaud. -Imperméabilisation par emplois partiels ou enduit général. Peut nécessiter l'exécution d'un tapis mince ou ultra-mince. -Relève alors de l'entretien spécialisé
		-Pelade localisée	-Petits arrachements de matériaux du revêtement localisés ou généralisés	
Trottoirs, bordures, réseaux, concessionnaires		-Bordures déplacées	-Chocs de véhicules, infiltrations d'eau, flexion du tablier, problème de dilatation, absence de joints secs entre éléments, absence de jeu au droit du joint du tablier	-Mise en place d'une signalisation. -Intervention d'entretien spécialisé
		-Dallettes cassées	-Circulation de véhicules sur le trottoir, tassement des remblais, mouvements de l'ouvrage, vandalisme.	-La réparation doit être précédée d'une analyse des causes.
		-Désordres sur les réseaux	Fuites, corrosion des supports, dégradations du calfeutrage (cas des conduites d'eau).	Alerter L'ADE dès l'apparition du désordre pour qu'il assure l'entretien ou la remise en conformité de son réseau.
Corniches		-Salissures diverses	- Détérioration des joints entre éléments - Sur corniches dues aux projections par les véhicules, à la pluie, aux ruissellements.	-Nettoyage car inesthétique. -Colmatage du joint entre éléments (opération délicate à réaliser). -Enlever les éclats pour qu'ils ne tombent pas sur la voie franchie. -Purge des bétons mal adhérents

		-Éclats, taches de rouille	- Suite à la carbonatation du béton d'enrobage, au gel et à l'utilisation de sels de déverglaçage et/ou à l'insuffisance d'enrobage des aciers pour les corniches en BA	-Préparation de surface -Mise en place d'une signalisation de restriction de circulation sur et sous ouvrage.
		Traces de chocs	- Heurts par des véhicules hors gabarit en hauteur occasionnant cassures, épaufrures... - Déplacement : détérioration de la fixation à la structure par chocs ou corrosion.	
Dispositif de retenue		-Eléments tordus -Visserie	-Les désordres consécutifs à des heurts de véhicules sont les plus fréquents. -Desserrage ou absence d'écrous. Corrosion	-Changement de l'élément tordu. Si la fixation est détériorée, -Resserrer les écrous ou remplacer les écrous manquants et les contre écrous. -Remplacer les pièces corrodées
Débouchage des barbacanes sur ouvrages de soutènement		-Accumulation d'eau derrière le mur, augmentation des poussées, à terme ruine du mur.	- Dépôts de matériaux solides dans les orifices, voire obstruction volontaire.	-Nettoyer périodiquement ces orifices en s'assurant de leur bon fonctionnement

Chapitre IV
Cas d'étude – Trémie de Stidia

CAS D'ETUDE – TREMIE STIDIA -

1. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

L'ouvrage d'art existant longeant la RN 11 au pk 380+800 est un ouvrage type à poutres multiples sous chaussée en béton précontraint par pré-tension à une seule travée.

Il est constitué de deux tabliers juxtaposés, chaque tablier est composé de six (06) poutres, ces dernières sont solidarisées transversalement par une dalle de compression en béton armé.

Ces deux tabliers s'appuient en rive sur deux culées remblayées en béton armé aussi.

Les deux culées sont constituées de murs frontaux et murs en retour en béton armé en amont et en aval servant de soutènement aux remblais contigus.

L'ouvrage est doté de perrés en maçonnerie en amont et en aval servant de protection au talus formant butée aux remblais contigus des deux culées.

L'ouvrage est doté de deux chaussées 12,27 m de largeur chacune bordées par deux trottoirs en béton armé dotés de deux garde-corps métalliques en amont et en aval.



Vue générale de l'ouvrage



Vue en élévation de l'ouvrage

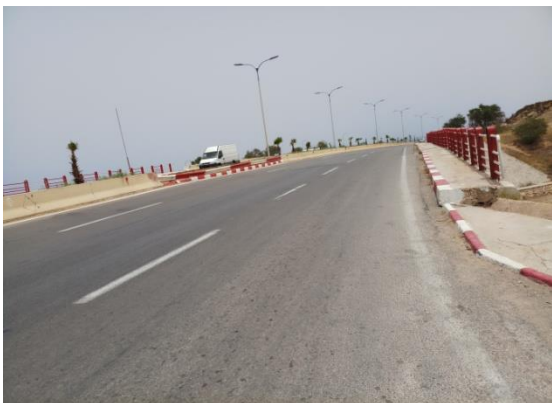
DONNÉES GÉOMÉTRIQUES	
TRACE	Droit
NOMBRE DE TRAVEES	01
PORTEE /TRAVEE	18, 80m
LONGUEUR DE L'OUVRAGE	19, 80m
LARGEUR DE L'OUVRAGE (02 TABLIERS)	24,54 m
LARGEUR DES TROTTOIRS	1,27 m

2. LOCALISATION DE L'OUVRAGE :

L'ouvrage d'art inspecté est situé dans la localité de Stidia, il permet de franchir la route nationale N° 11 au **PK 380+ 800**.



Figure 1 : Photo de l'ouvrage prise par satellite



Vue générale de l'ouvrage



Vue de l'ouvrage en élévation côté Mostaganem.

Figure 2 : Photo de l'ouvrage

La figure 2 montre que l'ouvrage en question est un pont à poutres multiples sous chaussée en béton précontraint par pré-tension, il est composé de deux tabliers juxtaposés,

s'appuyant simplement sur deux culées remblayées en béton armé en rive. Les poutres en béton armé ne présentent aucune pathologie d'ordre mécanique, elles sont en bon état en général.

EXPERTISE VISUEL ET DETAILLE DE L'OUVRAGE AVEC LE DIAGNOSTIQUE

A) EXPERTISE VISUELLE

Après avoir visité le site de projet en question de notre cas d'étude, nous avons appris et remarqué quelques dégradations visuelles subies par le pont de la trémie de Stidia.



Figure 3 : Vue en élévation du mur frontal de la culée côté Mostaganem

La figure 3 montre clairement les traces d'écoulement des eaux de pluie sur les parements vus du mur frontal et sur le sommier d'appui de la culée côté Mostaganem. Les parements vus du mur frontal de cette culée ne présente aucun désordre d'ordre mécanique. Les aciers apparents de quelques sections localisées du mur garde-grève de la culée côté Mostaganem.



Figure 4 : Vue en élévation du mur frontal de la culée côté d'Oran

De la figure 4, on remarque qu'il y a des traces d'écoulement des eaux de pluie sur les parements vus du mur frontal et sur le sommier d'appui de la culée côté Oran.



Figure 5: Vue de dessous de l'ouvrage au droit de la jonction des deux tabliers transversalement

La figure 5 représente la vue en détail de l'ouvrage au droit de la jonction des deux tabliers transversalement. Il est appaait clairement les traces d'infiltration des eaux de pluie au droit de la jonction des deux tabliers longitudinalement et sur les dalettes de coffrage de la dalle de compression à travers les réservations de drainage démunies de tubes en PVC / tablier côté aval. Les aciers dénudés du mur garde-grève juste au dessous de la jonction des deux tabliers sur culée côté Mostaganem.



Figure 6: Vue de détail des infiltrations des eaux de pluie au droit des contours des réservations prévues pour le drainage de l'ouvrage

De la figure 6, on remarque clairement les infiltrations des eaux de pluie au droit des contours des réservations prévues pour le drainage de l'ouvrage en l'absence des tuyaux en PVC.



Figure 7: Vue de détail des aciers dénudés au droit du mur garde-grève à la jonction des deux tabliers transversalement

Il bien claire de la figure 7 que les aciers sont dénudés au droit du mur garde-grève à la jonction des deux tabliers transversalement (la section concerne l'extrémité du mur garde-grève du tablier côté mer).



Vue générale des appareils d'appui sur sous des poutres principales en travée sur culée



Vue de détail des appareils d'appui en élastomère fretté sous les poutres principales en travée sur culée côté Mostaganem



Vue de détail des appareils d'appui en élastomère fretté sous les poutres principales en travée sur culée côté Mostaganem



Vue d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre principale en rive sur culée côté Oran



Vue d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre principale en travée sur culée côté Oran

Figure 8: Vue de détail d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre principale en travée sur culée côté Mostaganem et Oran

Figure 8 présente les Vues des appareils d'appui en élastomère fretté sous les poutres principales en travée sur la culée côté Mostaganem et Oran.

Ces appareils d'appui sont en bon état en général et ne présentent aucune distorsion et aucun désordre.



Figure 9: Vue de détail de l'accumulation des détritux des pigeons sur le sommier d'appui de la culée

Il est remarqué de la figure 9 la présence des pigeons sur le sommier des culées ce qui favorise l'accumulation de leurs détritux sur ce dernier.



Figure 10: Vue de l'extérieur du point de jonction entre les deux tabliers côtés localité de Stidia et plage de Stidia

De la vue de détail de l'extérieur de la fissure longitudinale du revêtement en béton au droit de la jonction des deux tabliers côtés localité de Stidia et la plage de Stidia (figure 10), on constate l'absence d'un complexe d'étanchéité sur ce revêtement favorise le phénomène d'infiltration des eaux de pluie à la jonction des deux tabliers.



Figure 11: Vue de détail du joint de chaussée sur culée

Le début de détérioration des éléments constitutifs et des solins latéraux du joint de chaussée est observé à vue d'œil, comme il est noté l'absence d'un joint de trottoir au droit du souffle du tablier sur la culée (figure 11).



Figure 12: Vue de détail au droit de la jonction tablier-culée

La vue de détail au droit des jonctions de tablier –culée côté Mostaganem et Oran (figure 12), montre l'absence des joints de trottoir au niveau de ces jonctions qui peut favoriser le phénomène d'infiltration des eaux de pluie au niveau du souffle du tablier à la jonction tablier-culée.



Figure 13: Vue sur les corniches côté localité de Stidia

Les traces d'écoulement des eaux de pluie sur les parements vus des corniches est nettement apparait en amont côté localité de Stidia.



Figure 14: Vue sur les corniches côté localité de Stidia

La présence d'arbustes nuisibles à la base du perré de protection du talus de la culée côté Mostaganem en amont est remarquée.



Figure 15: Vue de détail du trottoir en amont côté localité de Stidia

Vue d'ensemble de la détérioration du trottoir en amont côté localité de Stidia et la présence de végétation nuisible au niveau de ce trottoir est constaté.

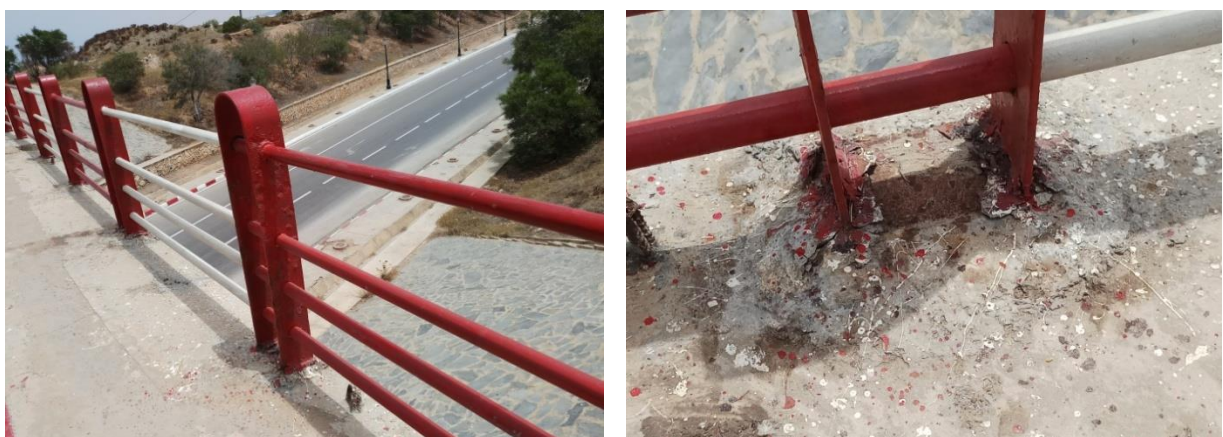


Figure 16: Vue d'ensemble et de détail des montants du garde-corps sur trottoir côté localité de Stidia

Il est noté un décrochement de la base de fixation d'un des montants du garde-corps métallique sur le trottoir en amont et les bases de fixation de tous les montants de ce garde-corps sont instables de l'ouvrage côté localité de Stidia.

Comme conclusion, les dégradations visibles relevées ne sont pas le signe de dégâts majeurs menaçant l'état de service de l'ouvrage, elles relèvent de l'entretien spécialisé.

Pour savoir est ce que l'état de l'ouvrage nécessite des mesures d'urgence il faut passer par une étude d'expertise détaillé.

B) EXPERTISE DETAILLEE

➤ D'AUSCULTATION DETAILLEE

Suite à l'inspection préliminaire détaillée, et suite aux dégradations prélevées sur les éléments constitutifs du tablier et des appuis de l'ouvrage, une auscultation minutieuse a été effectuée par **Entreprise d'Etudes et Réalisation en Génie Civil ALOUANE OUAHIBA de Bordj El Kiffan - Alger** afin de dresser un diagnostic complet de la structure et donner par la suite un pronostic voire solutions de réhabilitation et renforcement de l'ouvrage.

Le diagnostic est établi selon les phases suivantes :

- ✓ Un rappel des dégradations relevées avec les causes probables,
- ✓ Un diagnostic final établi sur la base des résultats donnés par le recalcul de la structure existante.
- ✓ Des essais sur la qualité du béton.

1- Un rappel des dégradations relevées avec les causes probables

▪ **Traces d'écoulement des eaux de pluie sur les murs frontaux des deux culées cotes Oran et Mostaganem** : Apparition de traces d'écoulement de eaux de pluie sur les murs frontaux des deux culées côtés Oran et Mostaganem, cette pathologie est due à l'absence d'un système de drainage au niveau des joints de chaussée existants (les joints existants ne sont pas drainants).

▪ **Traces d'écoulement des eaux de pluie sur les parements vus des corniches cotes localité de stidia et plage de Stidia** : Apparition de traces d'écoulement des eaux de ruissèlement sur les parements vus des corniches côtés en amont et en aval côtés localité de Stidia et plage de Stidia, cela est probablement du à une dénivelée des trottoirs vers l'extérieur alors que le dévers des deux trottoirs doit être orienté vers la chaussée pour l'évacuation des eaux de pluie.

▪ **Traces d'écoulement des eaux de pluie sur les dalles de coffrage de la dalle de compression à la jonction des deux tabliers :** Apparition de traces d'infiltration des eaux de pluie voire efflorescences sur l'intrados des dalles servant de coffrage à la dalle de compression au droit de la jonction des deux tabliers de l'ouvrage transversalement, cette pathologie est probablement due à l'absence d'un complexe d'étanchéité au niveau du revêtement extérieur de cette jonction (le revêtement extérieur au droit de cette jonction présente une fissure longitudinale de retrait).

▪ **Présence d'armatures dénudées sur des sections localisées au niveau du mur garde-grève de la culée côté Mostaganem :** Présence d'aciers dénudés sur des sections localisées du mur garde-grève de la culée côté Mostaganem, cela est dû à une insuffisance d'enrobage des aciers lors de l'exécution de ce mur accentué par les infiltrations d'eau.

▪ **Traces d'infiltration des eaux de pluie au droit des contours des réservations démunies de tubes en pvc :** Traces d'infiltration des eaux de pluie au niveau des contours des réservations de drainage de l'ouvrage car ces dernières ne disposent pas de tubes en PVC pour évacuer les eaux hors tablier.

▪ **Début de détérioration des éléments constitutifs des joints de chaussées au droit des deux culées :** Début de détérioration des éléments constitutifs des joints de chaussée et des solins latéraux. Ces joints de chaussée ne sont pas conformes aux normes car ils ne sont pas drainants et laissent par conséquent passer les eaux de pluie sur les appuis de l'ouvrage.

▪ **Absence de joints de trottoir au droit des deux souffles de l'ouvrage sur culées cotes Oran et Mostaganem :** Absence de joints de trottoir au droit des deux souffles du tablier , ces derniers n'ont pas été prévus lors de l'exécution du pont . L'absence donc de joints de trottoirs favorisera les infiltrations des eaux de pluie à travers les souffles au droit des culées sur les appuis et le tablier de l'ouvrage

▪ **Détérioration des deux trottoirs en amont et en aval de l'ouvrage cotes localité de Stidia et plage de Stidia :** Détérioration des deux trottoirs en amont et en aval de l'ouvrage, côtés localité de Stidia et plage de Stidia, cela est dû à la mise en œuvre d'un matériau non conforme lors de l'exécution de ces trottoirs.

▪ **Décrochement des bases de fixation des montants des deux garde-corps métalliques en amont et en aval de l'ouvrage cotes localité de Stidia et plage de Stidia :** Décrochement des bases de fixation des montants des deux garde-corps en amont et en aval de l'ouvrage côtés localité de Stidia et plage de Stidia car le système de fixation initial n'est pas conforme, une fixation par goujons encastrés à la dalle en béton armé des deux trottoirs est à prévoir.

▪ **Présence de végétation nuisible au droit des bases des perrés de soutènement des talus de la culée cote Mostaganem en amont et en aval :** Présence de végétation nuisible au niveau des bases des perrés de soutènement des talus formant butée aux remblais contigus de la culée côté Mostaganem en amont et en aval suite à un manque d'entretien de l'ouvrage.

2- Un diagnostic établi sur la base des résultats donnés par le recalcul de la structure existante.

▪ **Description du tablier**

Le détail de tablier de l'ouvrage d'art sur RN11 au PK 380+000 est donné dans le tableau suivant :

Données Géométriques	
Biais	75 grades
Nombre de Travées	01
Portée	19,80 m
Ouverture	18,80 m
Longueur de l'ouvrage	19,80 m
Largeur roulable de la chaussée	11,30 m
Largeur chargeable de la chaussée	11,30 m
Largeur de l'ouvrage	14,80 m
Largeur de trottoirs	1,75 m
Epaisseur de l'hourdis	0,25 m

Afin d'évaluer l'état de service de l'ouvrage, **Entreprise d'Etudes et Réalisation en Génie Civil ALOUANE OUAHIBA de Bordj El Kiffan - Alger** a établi un recalcul de la structure avec les surcharges de trafic actuelles (voir annexe 1) et donner les résultats de la vérification de la stabilité de l'ouvrage comme suit :

Les sollicitations internes Max dans la poutre la plus sollicitée donnée par la combinaison poids propre convoi exceptionnel sont supérieures aux celles données par les charges civiles, le tablier du pont ne peut pas recevoir le convoi D240. La charge max que le tablier peut reprendre sur convoi type D est de 234 tonnes.

3- Des essais sur la qualité du béton.

L'inspection préliminaire détaillée a permis de dresser un premier diagnostic concernant l'état général de l'ouvrage notamment l'ossature porteuse à savoir le tablier constitué de 07 poutre rectangulaires surmontées d'une dalle le tout en béton armé, le tablier

du pont est constitué de 6 travées indépendantes simplement appuyées sur cinq piles palées à trois fûtes chacune en béton armé aussi en travée et sur deux piles culées en rive.

Aucun désordre d'ordre mécanique n'a été relevé au niveau des matériaux constitutifs de l'ossature porteuse et des appuis de l'ouvrage en l'occurrence le béton comme matériaux principal.

▪ **MATERIELS D'AUSCULTATION :**

○ **Le scléromètre :**

L'essai au scléromètre est une méthode non destructive qui permet d'estimer la résistance du béton. Cet essai est simple, rapide à mettre en œuvre et permet d'avoir une meilleure représentativité de la qualité du béton. L'essai est basé sur la variation de l'absorption de l'énergie cinétique du béton. Il mesure par lecture directe le rebond d'une masselotte calibrée suite à une chute déterminée.

Pour le béton, il est établi que la hauteur de rebondissement est d'autant plus grande que sa dureté superficielle est élevée.

L'essai peut être réalisé à 90° ou 45° et sur des parois horizontales ou verticales. L'estimation de la résistance en compression est réalisée à partir d'une courbe étalonnée.



Figure 17: Essai sclérométrique horizontal

○ **L'Ultrason:**

Le contrôle sonore par ultrasons consiste à générer à l'aide d'un émetteur des ondes d'un point **A** et à l'aide d'un récepteur placé au point **B** de mesurer le temps et la vitesse de propagation.

Selon le chercheur allemand Wesche la qualité du béton est donnée la vitesse de propagation $V = L / T$:

V (m/s) : VITESSE DE PROPAGATION	QUALITE DU BETON
$2500 \leq V < 3200$	Faible
$3200 \leq V < 3700$	Moyenne
$3700 \leq V < 4200$	Haute
$V \geq 4200$	Très Haute

Donc pour la détermination de la vitesse de propagation des ultrasons nous avons utilisé la méthode suivante :

Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

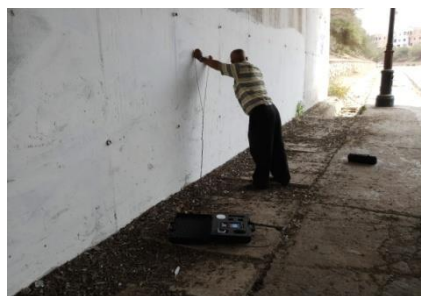
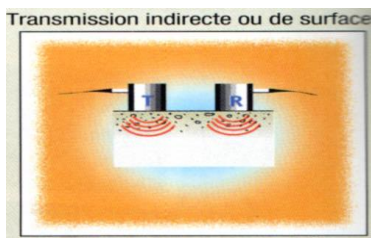


Figure 18: Essai ultrasonique de surface (transmission indirecte)

Les résultats des essais non destructifs (scléromètre et ultra-son) sont donnés dans l'annexe 2.

ENTRETIEN ET REHABILITATION A PREVOIR

Après l'analyse complète des désordres relevés dans la structure et après le recalcul du tablier selon les surcharges routières actuelles, une réhabilitation des parties affectées s'impose et quelques réparations sont prévues afin de préserver l'état de service l'ouvrage et de prolonger ainsi sa durée de vie.

Les réparations prévues sont répertoriées ci-dessous :

- Travaux de mise en place de joints de chaussée type à hiatus étanches au niveau des deux souffles de l'ouvrage.

- Travaux de mise en place de joints de trottoir type hiatus tanches au niveau des deux souffles sur culées.
- Mise en place des avaloirs de type M125 avec un grille de fonte de dim 300x300 y compris toutes sujétions de bonne exécution.
- Prolongation des gargouilles des tubes en PVC Ø100 y compris les colliers de fixation et raccordement à l'étanchéité et toutes sujétions de bonne exécution.
- sablage pour béton sur toute les parties de l'ouvrage y compris toutes sujétions de bonne exécution..
- fourniture et pose d'une couche de peinture anticorrosion pour béton sur toutes les parties de l'ouvrage,
- Réfection du béton par mise en place d'u mortier a base de résine SIKA MONOTOP 126 avec traitement des armatures toutes sujétions de bonne exécution,
 - injection de la résine pour réparation des fissures
 - Nettoyage du sommier de la culée de tous débris y compris toutes sujétions de bonne exécution.
- fourniture et mise en place d'un complexe d'étanchéité au niveau du revêtement extérieur de la jonctiondes deux tabliers
 - Fourniture et mise en place de fourreaux en PVCØ150mm
 - Fourniture et mise en place de béton imprimé de 15 cm d'épaisseur dosé à 350 kg/m³ de résistance à la compression minimale 300 bars suffisamment adjuvanté armé en treillis soudé y compris pose de filme polyane, réglage, vibration et lissage y compris traitement des joints ; saupoudrage de durcisseur de surface coloré avec incorporation à la lisseuse en magnésium et finition, empreinte sur béton frais avec saupoudrage de démoulant en poudre et lavage sous pression; et application d'une résine de protection et toutes sujétions de bonne exécution
- Dépose des éléments des gardes corps existants y compris toutes sujétions de mise en œuvre
- Fourniture et mise en place des gardes corps galvanisé de bonne qualité y compris peinture et toutes sujétions de mise en œuvre

Conclusion générale

Les ponts ont pour finalité de permettre la circulation des biens et des personnes. Suite à leur construction, ils doivent être maintenus dans un bon état structurel et fonctionnel. Pour ce faire, ces ouvrages sont généralement l'objet d'opérations de surveillance et d'entretien organisées, s'inscrivant en droite ligne dans la gestion plutôt curative que préventive du patrimoine.

L'approche proposée dans ce travail nous a finalement aidés à mieux comprendre les problèmes avec les œuvres d'art, en particulier l'entretien et la réparation des ponts et nous a permis d'avoir les conclusions suivantes :

Dans la partie bibliographie on a arrivé à :

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

Dans la deuxième partie on a pu :

- avoir une description générale de notre trémie
- Faire le constat et l'expertise des dégâts et des dégradations subis du trémie de stidia
- Connaître l'entretien et les réhabilitations à prévoir

Donc il est devenu urgent d'envisager à court terme un d'entretien avec planification de budget substantiel pour préserver ce pont.

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

ANNEXES

ANNEXE 1

ETUDE DE LA PORTANCE DE LA STRUCTURE :

1. HYPOTHESES DE CALCUL:

a. MATERIAUX

BETON	
Resistance à La Compression	$F_{c28} = 25 \text{ MPa}$
Resistance à La Traction	$F_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$

ACIER	
Limite D'Elasticité	$R_e = 400 \text{ MPa}$
Résistance à La Traction (<i>Rupture</i>)	$R_m = 480 \text{ MPa}$
Module Elastique	$E = 210\,000 \text{ MPa}$

b. CHARGES ET SURCHARGES

CHARGE PERMANENTE	
Poids Des Poutres	180,00 t
Poids Hourdis	180,00 t
Poids Revêtement	43,50 t
Poids des Trottoirs	37,50 t
Poids des Garde-corps	4,00 t

SURCHARGES	
Système De Charges A	$a_1 = 0,9$
	$a_2 = 0,93$
	$A(l) = 1,13 \text{ t/m}^2$
Système De Charges Bc	$b_c = 0,8$
	$\sigma_{bc} = 1,11$
Système De Charges Bt	$b_t = 1,20$
	$\sigma_{bt} = 1,08$
Charge Militaire M_{c120}	$\sigma_{M_{c120}} = 1,12$

c. COMBINAISONS DES CHARGES

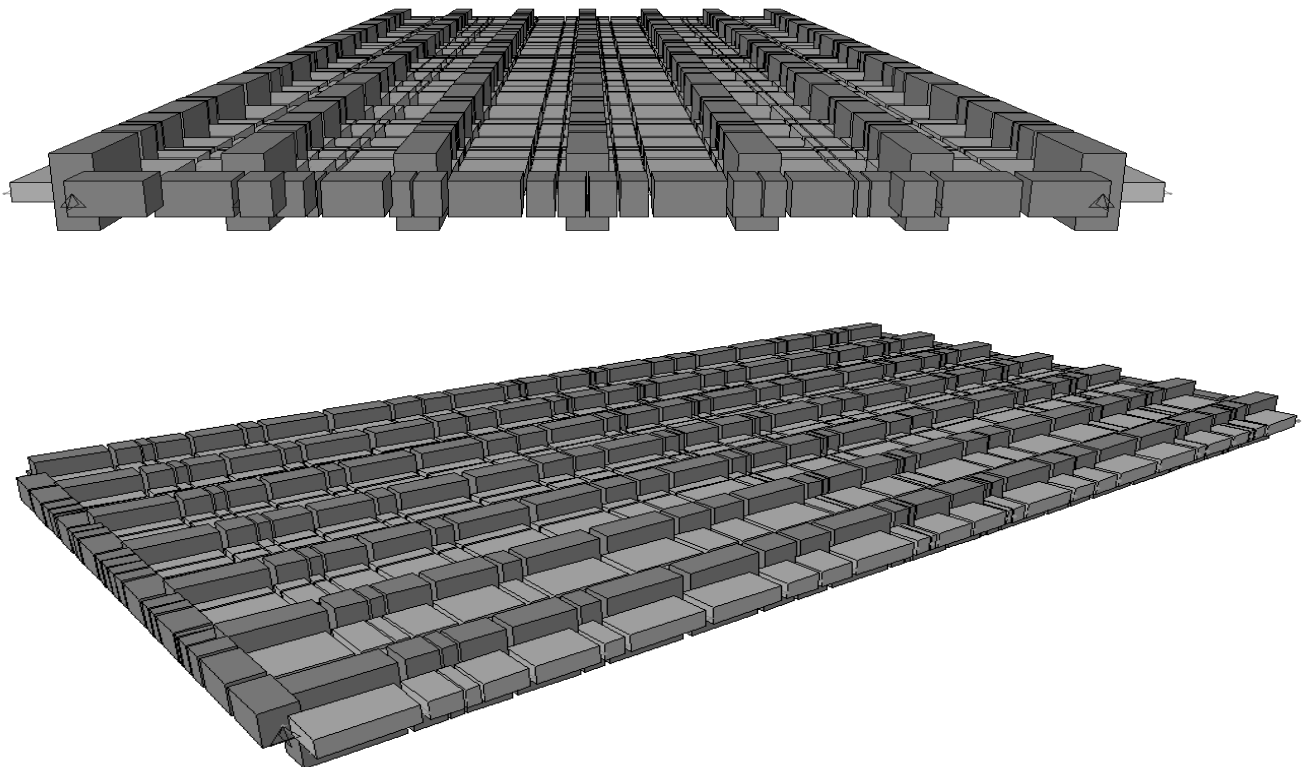
ETATS LIMITES ULTIMES ELU
$1,35 G + 1,6 ([A(l), Bc, Bt] + St)$
$1,35 G + 1,35 Mc_{120}$

ETATS LIMITES DE SERVICE ELS
$1,00 G + 1,2 ([A(l), Bc, Bt] + St)$
$1,00 G + 1,00 Mc_{120}$

2. MODELISATION :

Le tablier est modélisé et calculé à l'aide d'un logiciel de calcul par la méthode des éléments finis, les poutres sont modélisées en éléments barre et l'hourdis en élément dalle.

Le modèle de calcul du tablier du pont est représenté ci-dessous



3. EFFORTS MAX :

a. MOMENT DE FLEXION

ELU						
	P3'	P2'	P1'	P1	P2	P3
1,35 G + 1,6 (A(l) + St)	356,00	369,00	379,30	379,30	369,00	356,00
1,35 G + 1,6 (Bc + St)	285,85	289,70	294,55	294,55	289,70	285,85
1,35 G + 1,6 (Bt + St)	210,30	231,60	259,95	259,95	231,60	210,30
1,35 G + 1,35 Mc ₁₂₀	283,25	315,65	357,15	357,15	315,65	283,25
M_{MAX} AUX ELU = 379,30 T.M SOUS LA COMBINAISON 1,35 G + 1,60 (AL + ST)						

ELS						
	P3'	P2'	P1'	P1	P2	P3
1,00 G + 1,2 (A(l) + St)	263,70	273,33	280,96	280,96	273,33	263,70
1,00 G + 1,2 (Bc + St)	211,74	214,59	218,19	218,19	214,59	211,74
1,00 G + 1,2 (Bt + St)	155,78	171,56	192,56	192,56	171,56	155,78
1,00 G + 1,00 Mc ₁₂₀	209,81	233,81	264,56	264,56	233,81	209,81
M_{MAX} AUX ELS = 280,96 T.M SOUS LA COMBINAISON 1,00 G + 1,20 (AL + ST)						

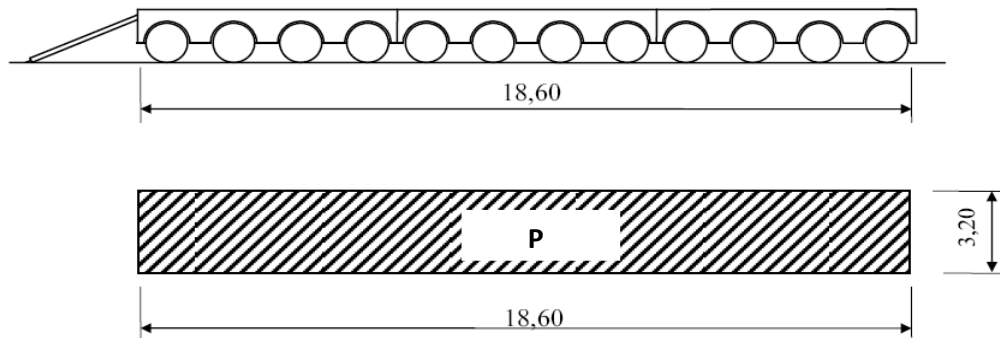
b. EFFORT TRANCHANT

ELU						
	P3'	P2'	P1'	P1	P2	P3
1,35 G + 1,6 (A(l) + St)	74,45	89,65	92,60	92,60	89,65	74,45
1,35 G + 1,6 (Bc + St)	65,10	79,00	85,10	85,10	79,00	65,10
1,35 G + 1,6 (Bt + St)	55,15	62,10	98,70	98,70	62,10	55,15
1,35 G + 1,35 Mc ₁₂₀	52,20	66,80	98,60	98,60	66,80	52,20
T_{MAX} AUX ELU = 98,70 T SOUS LA COMBINAISON 1,35 G + 1,60 (BT + ST)						

4. CONVOI EXCEPTIONNEL D240:

Le convoi type D₂₄₀ comporte une remorque de trois éléments de quatre lignes à deux essieux de 2400 kiloNewtons de poids total.

Ce poids est suppose reparti au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément charge de 3,20m de large et de 18,60m de long.



Le convoi est supposé circuler seul quelles que soient la largeur et la longueur du pont ; dans le sens longitudinal il est disposé pour obtenir l'effet le plus défavorable.

Dans le sens transversal, son axe longitudinal est situé à l'axe de l'ouvrage.

Les charges exceptionnelles ne sont pas frappées de majorations pour effets dynamiques; elles sont supposées ne développer aucune réaction de freinage, ni force centrifuge, et rouler à 10km/h au plus.

MOMENT DE FLEXION (T.M)	
ELU : 1,35 G + 1,35 D₂₄₀	383,40
ELS : 1,00 G + 1,00 D₂₄₀	284,00
EFFORT TRANCHANT (T)	
ELU : 1,35 G + 1,35 D₂₄₀	109,10

Les sollicitations internes Max dans la poutre la plus sollicitée donnée par la combinaison poids propre convoi exceptionnel sont supérieures aux celles données par les charges civiles, le tablier du pont ne peut pas recevoir le convoi **D₂₄₀**. La charge max que le tablier peut reprendre sur convoi type **D** est de **234 tonnes**.

ANNEXE 2

RESULTATS D'AUSCULTATIONS :

Les mesures sont réalisées sur la troisième poutre sur culée côté el Aouinet .

1. RESULTATS DES ESSAIS SCLEROMETRIQUES:

N° DE MESURE	CULEE COTE ORAN / Rm (MPa)	CULEE COTE MOSTAGANEM / Rm (MPa)
1	32	39
2	38	39
3	32	32
4	32	32
5	31	32
6	40	38
7	41	38
8	42	38
9	33	38
10	33	32
11	32	32
12	32	32
13	32	33
14	31	33
15	30	35
16	30	32
MOYENNE	<u>34,00</u>	<u>34,7</u>

La moyenne des valeurs sclérométrique obtenues pour la culée côté Oran est de **34 MPa** et pour la culée côté Mostaganem **34,7 MPa** ce qui signifie que le béton testé est de très bonne qualité.

2. ESSAIS ULTRASONIQUE :

(CULEE COTE ORAN)		
MESURES EN SURFACE (INDIRECTE)		
Δ (cm) : Distance entre l'émetteur et le récepteur	t (μ s) : Temps de propagation des ondes	V (m/s) : Vitesse De Surface
100	26	3846
200	53	3774
300	76	3947
V (m/s)		3856

La moyenne des vitesses ultrasonique obtenue au droit de la culée côté Oran est de **3856 m/s** ce qui indique que le béton testé est de très bonne qualité.

(CULEE COTE MOSTAGANEM)		
MESURES EN SURFACE (INDIRECTE)		
Δ (cm) : Distance entre l'émetteur et le récepteur	t (μ s) : Temps de propagation des ondes	V (m/s) : Vitesse De Surface
100	27	3704
200	51	3922
300	83	3614
V (m/s)		3747

La moyenne des vitesses ultrasonique obtenues est de **3747 m/s** ce qui indique que le béton testé est de très bonne qualité.

BIBLIOGRAPHIE

[1] P.Kumar Mehta Paulo J.M.Monteiro « Concrete Microstructure, Properties, and Materials Third Edition » Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley publiée par McGraw-Hill 2006 p 647.

[2] J. Skalny, J. Marchand and I. Odler "Sulfate Attack on Concrete" édition Taylor & Francis e-Library, 2003 217p.

[3] Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT «La durabilité des bétons» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.

[4] M.G. Alexander and S. « Mindess Aggregates in Concrete » 311-312.

[5] CALGARO J. A. & LACROIX R., «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.

[6] François, R., Arliguie, G., Maso, J.C., 1994, «Progrès Dans La Construction Par La Maitrise De La Fissuration Du Béton Hydraulique », Rapport de synthèse LMDC, France.

[7] Schiessl, P., 1986 « Influence des fissures sur la durabilité du béton armé et éléments en béton précontraint » Comité allemand du béton armé, pp 11-52

[8] Règlement parasismique des ouvrages d'art version 2006,

[9] Rapport préliminaire de la mission AFPS Organisée avec le concours du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SDPRM) « LE SÉISME DU 21 MAI 2003 EN ALGÉRIE » Version du 8 juillet 2003.

[10] Schiessl, P., 1986 « Influence des fissures sur la durabilité du béton armé et éléments en béton précontraint » Comité allemand du béton armé, pp 11-52

[11] Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT «*La durabilité des bétons*» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.

[12] Kedjour Naser-Eddine "*Propriété et pathologie du béton*" PUBLIE PAR OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERCITAIRES 1993 269P.

[13] Jamel Neji Ingénieur ETP - Docteur Ecp Enseignant à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis "*Le Projet Routier*" publié par Centre des Publication Universitaire 2005 p198

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

[15] Surveillance et entretien courant des ouvrages d'art routiers : Guide technique à l'usage des communes (**CEREMA**) 2018

Autre :

[16] Rapport d'expertise OA stidia RN11-PK380+800 - wahiba alouane