



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ « ABESLAGHROUR » DE KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de Génie Civil

N° de série :

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Voies et Ouvrages D'art

Pathologie de voie et ouvrage d'art

Réalisé par :

Dirigé par : . Mr. RFRAFI SALAH

- Taleb Abdelbaghi Mohamedlemin
- Taher Mohamed Salem

Membres de jury :

- BOUTRID ABDELAZIZ
- GAERDAOUI MOUFIDA

Année universitaire 2019-2020

Remerciements :

Nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissance a nos professeur, encadrent Ms REFRAFI SALAH qui n'ont épargné aucune effort pour nous aider à avancer, à travers leurs patientes orientations, leurs conseils et leurs critiques constructive, dans notre travail, et à qui nous devons énormément, dans sa réalisation, nous remercions également toutes celles et tous ces parmi le personnel éducatif et administratif qui de près et de loin, nous ont encourager à aller de l'avant .

Nous dédions ce mémoire à nos chers parents à qui nous devons respect et gratitude d'avoir toujours été présent quand nous avons besoin de leur appui ainsi quand toutes nos familles, nos chers amis et nos collègues, pour les sincérités de leurs encouragement

Nous tenons aussi à remercier : les ingénieurs en génie civil du service technique, et les superviseurs de la remise en état de la piscine communale, en fin je présente mes sincères.

*Remerciements à toute l'équipe de formation du département de Génie Civil de L'université Abbas laghrour khenchela
Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma Soutenance et pour l'effort fourni à fin de juger ce modeste travail.*

LISTE DES FIGURES

FIGURE	N°
Figure I: dégradation	13
Figure II: glissement de terrain	14
Figure III: destruction des chaussées	14
Figure IV: relevé de dégradations	15
Figure V: L'orniérage à grand rayon	16
Figure VI: L'affaissement de rive	17
Figure VII: L'affaissement hors rive (flashe)	17
Figure VIII: Fissuration transversale	18
Figure IX: Fissuration longitudinal	19
Figure X: Fissuration longitudinale non spécifique aux bandes de roulement	20
Figure XI: Fissuration d'adaptation	20
Figure XII: Faiénçage	21
Figure XIII: Glaçage ou indentation	22

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	N°
TABLEAU 1:	55
TABLEAU 2:	56
TABLEAU 3:	56
TABLEAU 4:	57

SOMMAIRE

TITRE	N°
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE 1	3
CHAPITRE 1 Le Fonctionnement d'une chaussée sur le plan général	4
Introduction	4
I. Définition de la route :	4
II. caractéristique géométrique des voies	4
III.a.profil en long	5
IV. Les différents types de route	5
VI- Compositions	6
VII.a. Démarche de calcul	10
CHAPITRE II : Causes des dégradations et évolutions des voies	12
Introduction :	13
I. L'eau est la première ennemie de la route	13
II. Les différents types de dégradations de chaussées et méthodes de diagnostic	14
III- Mode de dégradation	21
CHAPITRE III : Entretien Routier	24
Introduction	25
I. Définition et caractéristiques	25
II. L'entretien routier et ses techniques	26
PARTIE II	34
CHAPITRE I : Généralités Sur le Ponts	35
Introduction :	35
I. Les différents types d'ouvrages d'art	36
II. LE PONT	36
III. Les ponts en béton armé	40
CHAPITRE II : La Pathologie Des Ouvrages D'art	42
INTRODUCTION	43
I. ORIGINES DES DESORDRES	44

II. Actions dues au climat	45
III. PRINCIPAUX DESORDRES RENCONTRES	46
IV. Dégradation d'origine physico-chimique	47
CHAPITER III : Principes Pour L'évaluation Et Réhabilité de Ponts En Béton Armé	50
Introduction	51
I. Recensement des désordres	52
II. L'auscultation de l'ouvrage	53
III. L'étude des fissures	54
IV. Etude du fonctionnement de la structure	54
V. REHABILITE D'UN PONT EN BETON ARME	56
Conclusion générale	63

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale :

La gestion d'un patrimoine des voies et ouvrages d'art s'appuie sur des actions de surveillance, d'entretien et de réparation.

L'inspection détaillée des voies et ouvrages d'art est, à ce titre, un élément essentiel de la gestion du patrimoine. Sa réalisation dans les règles de l'art et son adaptation aux spécificités des patrimoines jouent un grand rôle dans l'efficacité des politiques de gestion. En effet, l'inspection détaillée des voies et ouvrage d'art contribue, au travers de l'évaluation visuelle de son état, à définir et à planifier les opérations de maintenance préventive et, le cas échéant, des actions spécifiques de surveillance particulière, des investigations complémentaires ou des réparations.

L'inspection détaillée comprend obligatoirement une analyse documentaire, des relevés visuels et des mesures simples. L'analyse de l'ensemble de ces éléments conduit, d'une part à une évaluation argumentée de l'état actuel des voies et d'ouvrage d'art et, d'autre part à des recommandations quant aux actions à mener au titre :

- de la sécurité des usagers.
- de la maintenance : entretien courant et entretien spécialisé.
- des investigations complémentaires (mesures géométriques. instrumentation statique et dynamique, prélèvements et analyse de matériaux, modélisation, recalculs...).
- des réparations.
- des actions particulières de surveillance (surveillance renforcée, haute surveillance).
- de la modification de la nature, du contenu et de la périodicité du programme de maintenance préventive.

A l'issue de cette inspection détaillée, deux cas de figure peuvent se présenter :

- les causes des défauts et les actions correctives à prévoir sont clairement identifiées sans qu'il soit besoin de prévoir des investigations complémentaires ; dans ce cas, l'inspection détaillée, est de fait, un diagnostic.
- dans les autres cas, l'inspection détaillée constitue un pré-diagnostic.

La réalisation de diagnostics, d'investigations complémentaires, la mise en œuvre d'actions spécifiques de surveillance et la rédaction de programmes de réparation sont des études particulières.

Ces études, qui peuvent être recommandées à l'issue d'inspections détaillées, font en général appel à des compétences distinctes de celles requises pour les inspections détaillées. En conséquence, elles doivent faire l'objet de consultations et de commandes distinctes.

INTRODUCTION GENERALE

La méthodologie générale à suivre à l'issue d'inspections détaillées est illustrée par le synoptique présenté ci-après.

1. Maintenance des ouvrages d'art :

Dans le cadre de la gestion des voies et des ouvrages d'art, la maintenance occupe une position clé: seuil entre une situation normale et une situation anormale.

Il faut avoir une répartition judicieuse des moyens attribués à la surveillance et à l'entretien afin d'éviter des réparations nécessitant des investissements financiers importants.

Le groupe de recherche en matière de routes et de transport estime que le cout annuel de maintenance devrait s'élever annuellement à 0.7% de la valeur de remplacement des ouvrages: 0.2 % pour la surveillance et 0.5% pour l'entretien.

Une maintenance régulière et systématique des ouvrages est donc nécessaire si l'on ne veut pas que les réparations atteignent des montants disproportionnés par rapport au capital investi lors de la construction.

2. La surveillance

Elle a pour but de déceler à temps les défauts ou les modifications de l'ouvrage ou de son environnement.

Elle doit permettre d'établir une planification des entretiens nécessaires.

Dans le cas normal, où l'ouvrage doit être considéré à priori comme sain et où le contrôle continu ne se justifie pas, la surveillance peut s'effectuer sous forme d'inspections:

Inspection périodique: permet de faire une image complète de l'état de comportement des voies et les ouvrage. Le choix de l'intervalle de temps entre deux inspections périodiques cherchera à optimiser le cout d'inspection et à garantir la sécurité.

Pour les ponts, cet intervalle est généralement 5 ans.

Inspection de routine: conçues de manière plus simple pour permettre de déceler à temps les défauts apparents.

Elles viennent s'intercaler entre les inspections périodiques.

Inspection spécifique qui s'effectue lors d'un changement important dans l'état des voies et ouvrages.

PARTIE I

CHAPITRE I :

Le Fonctionnement d'une chaussée sur le plan général

Introduction

Le fonctionnement d'une chaussée permet de souligner les règles fondamentales pour concevoir et dimensionner une route, mais aussi les spécifications requises pour les matériaux routiers, et le soin à apporter à leur mise en œuvre.

L'influence de ces règles fondamentales sur la durabilité de la chaussée, est primordiale.

De tout temps, on a eu besoin de circuler aisément entre des territoires, Dieu a donné une grande richesse à l'homme en l'occurrence la terre c'est ainsi que le domaine de route constitue une partie très importante du patrimoine national d'un pays, mais en période de pluie les sols mouillés devenaient glissants ou se transformaient en bourbiers, avec l'évolution de la science, et des engins la structure de la chaussée devenait une route moderne. Elle a été initiée par l'emploi des matériaux à granulométrie contrôlée et de calibre déterminé et puis avec l'émergence des matériaux traités au liant hydrocarboné et hydraulique.

La route est alors un facteur très important de développement économique et social entre les villes.

I. Définition de la route :

Le mot route vient du mot latin (viarupta) qui signifie voie frayée. C'est donc une voie de communication terrestre aménagée pour permettre la circulation de véhicules et de relier entre des points.

En d'autre part important de noter que l'histoire de la route est indubitable attachée au développement de l'humanité et de civilisation, bien sûr les romains ont véritablement marqué de son empreinte.

II. caractéristique géométrique des voies

II.1. Tracé en plan :

Le tracé en plan représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau.

II.2. Élément de tracé en plan

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements, des liaisons (courbes de raccordements) et des arcs de cercles ces éléments doivent assurer les conditions de confort et de sécurité.

II.3. Règles à respecter dans le tracé en plan

Eviter les terrassements importants

Eviter les terrains très plastiques

Eviter au maximum de passer sur des terrains agricoles, des zones forestières et les propriétés privées.

III.a.profil en long

Le profil en long de la voie est constitué de lignes droites reliées entre elles par des courbes circulaires.

III.a.1 Règles à respecter dans le profil en long

Minimiser les quantités de déblai et remblai

Eviter une hauteur excessive en remblai

Il faut respecter les valeurs des paramètres géométriques et les rayons préconisés par les règlements.

III.b. profil en travers

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon en plan verticale perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, il donne des renseignements sur :

Les cubatures

Les valeurs des pentes des talus

Le mode d'assainissement.

III.c.largeur des voies

La largeur des voies est de 3,50 m pour les routes principales neuves en rase-compagne.

Celle-ci peut néanmoins être réduite à 3,00 m en cas de contrainte de site et lorsque le volume de circulation est faible.

Sur la route en relief difficile, la largeur peut être inférieure. Par contre elle ne peut pas être inférieure à 3,50 m pour les routes de transit (catégorie T).

Dans les zones urbaines la largeur de chaussée peu réduire à 4,00 m. Cette largeur suffit en effet au croisement de deux véhicules légers. Lorsque le croisement de poids lourd sur ces voies est récurrent une largeur de 5,50 m est préférable.

IV. Les différents types de route

Ils sont définis dans le catalogue des types de routes.

IV.1. Le réseau structurant

CHAPITRE I : Le Fonctionnement d'une chaussée sur le plan général

Autoroute de liaison de type L, à deux chaussées séparées par un terre-plein central non franchissable, à carrefours dénivelés, isolée de son environnement, sans accès riverain, à trafic élevé et à vitesse limité à 130 km /h

Route express : route de transit de type T à une chaussée ou deux chaussées, à carrefours dénivelés, isolée de son environnement, à trafic moyenne.

IV.2. Autres voies principales

Artère interurbaine : route multifonctionnelles de type R à deux chaussée séparée par un terre-plein central infranchissable, à carrefour giratoires ou plan central traversée du terre-plein central, à vitesse limitée à 110 km / h si absence d'accès riverains ou à 90 km / h si accès riverains.

IV.3. Routes secondaires

Ces sont des routes de types S possédant les même caractéristiques que les autres routes principale, mais à faible trafic.

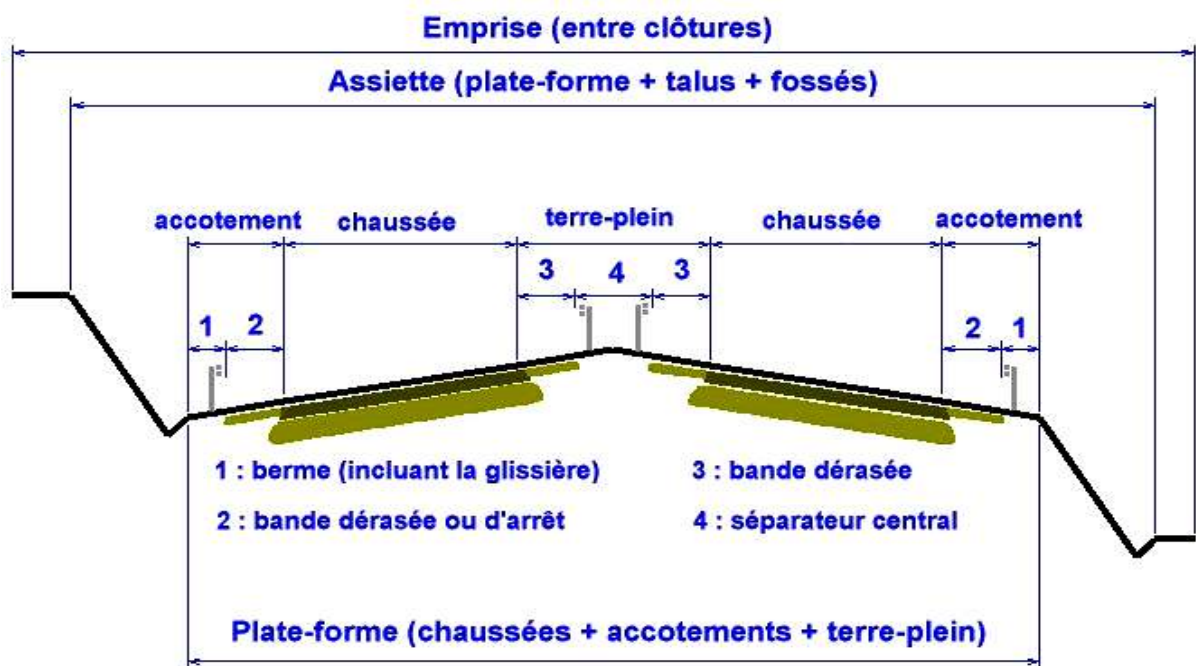
IV.4. Voies urbaines

Elles se décomposent en :

Voies principales urbaines, qui peuvent à une ou deux chaussées

Voies de desserte d'activités locales à une chaussée.

V. Eléments géométriques du profil en travers



Licence GNU 2003

VI- Compositions

Introduction

La voie est un ensemble de couche, ce couche est réalisé par assemblage de grains à peu inertes, les granulats lié par enrobé résultats du mélange de graviers, de sable et de liant hydrocarboné ou de liant hydraulique appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer une chaussée des routes.

VI.1. enrobés pour assises de chaussées

Les graves bitume : mises au point au début des années 70, elles représentent aujourd'hui la première technique de construction d'assises de chaussée sur le réseau routier- La conception de ces enrobés résulte de constatations faites entre 1950et 1970

La stabilité est obtenue par l'utilisation de bitume relativement dur 35/50 à un dosage relativement faible et avec l'utilisation de granulats entièrement concassés.

Les sables bitument : c'est un mélange de sable naturel de sable concassée de bitume très dur

Un enrobé est un mélange de graviers, de sable et de liant hydrocarboné.

Un liant hydraulique est un liant qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau et aussi capable de se faire sous l'eau, ce que l'on nomme hydraulicité.

Ciment joue le rôle de liant du béton hydraulique.

Le ciment est composé d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit avec l'eau.

Granulats est un assemblage hétérogène formé par l'agrégation de multiples particules, tant minérales qu'organiques. Qui adhèrent solidement entre elles. Les granulats sont très importants essentiels puisque ils représentent le 2/3 du volume d'une route. Ils sont constitués de différent grains minéraux. Naturels ou artificiels

La taille des granulats est indiqué par deux chiffres, la plus grande dimension des éléments les plus petits et celle des éléments les plus grands. Par exemple, un gravier 5/15 est composé de particules dont le diamètre varie entre 5 et 15mm, pour de travaux de génie civil (construction et voie ouvrage d'art).

Sable est une roche sédimentaire meuble et un matériau constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 et 2 mm selon la définition des matériaux granulaires en géologie.

La calcification des sols s'effectue sur la base de paramètres de nature, mécaniques et d'état. Ces paramètres renseignent sur la granularité, la résistance et l'état hydrique du soi-la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol (DMax.) et les tamisât à 80

microns et 2 millimètres permettent de distinguer les sols- l'indice de plasticité (Ip) et la valeur au bleu de méthylène du soi (VBS) permettent de caractériser l'argilosité du sol. Les coefficients Los Angeles (LA) et Micro-Derval en présence d'eau (MDE) permettent de terminer la résistance aux chocs et à l'usure.

VI.2. Différents types de chaussée

Introduction

Pour réaliser une route il faut choisir quels types de chaussée doit utiliser, pour répartir les charges sur une surface et de réduire les pressions transmises au sol, sous l'effet des conditions climatiques, économiques et chimiques. Avec une grande considération des critères suivants : détermination du niveau de réseau principale et secondaire, détermination de la classe de trafics des poids lourds à l'année, ressources de matériaux et étude géologique.

VI.2.1. Chaussée souple

Une chaussée souple comporte des matériaux liés hydrocarbonés, Elles sont composées d'un revêtement bitumineux relativement mince inférieur à 15 cm réduit parfois à un enduit dans le cas de chaussée à très faible trafic. L'assise est réalisée d'une ou plusieurs couches de matériaux granulant non traités (GNT), la couche de forme dépend de la nature du terrain. L'épaisseur de ensemble de la structure est en générale compris entre 30 et 60 cm.

VI.2.2. Chaussée rigide

La chaussée rigide est constituée de revêtement en béton de ciment reposant le plus souvent sur une assise en béton maigre.

La dalle en béton peut être armé ou non.

La dimension la plus grande doit être limitée à 20 mm pour les couches des bases et 31,5 mm pour les couches de fondation.

VI.2.3. Chaussée semi-rigide

La chaussée semi-rigide comporte une couche de surface bitumineuse qui repose sur une assise traité aux liants hydrauliques.

Quelques notions

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitumineux

GC : crave concassé

GNT : grave non traité

CHAPITRE I : Le Fonctionnement d'une chaussée sur le plan général

GL : Grave laitier.

Pour qu'on puisse dimensionner la couche d'assise, on doit avoir tout d'abord une idée sur la portance de la plate-forme.

On classe la portance des plates-formes comme suit :

P1 : Mauvaise plate-forme.

P2 : Moyenne plate-forme.

P3 : Bonne plate-forme.

La portance de la plate-forme se détermine selon la classe de qualité du sol support et de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme.

On classe la qualité des sols comme suit :

QS0 : Sols (impropres) nécessitant certaines mesures confortatives (substitution des matériaux sur une certaine épaisseur, traitement au liant, utilisation de géotextiles).

Qs1 : Sols mauvais acceptable tels quels, dont on doit toujours se

Préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent éventuellement être transformés en sols de qualité meilleure par un traitement approprié (traitement aux liants, par exemple).

Qs2 : Sols Moyennes.

Qs3 : Bons sols.

Qs3 : Très bons sols.

Ces sont des classifications du sol selon Indice CBR (ICBR)

Méthode CBR mesure la portance du sol vis-à-vis du poinçonnement.

Catalogue du contrôle technique des travaux publics (CTTP) est important pour dimensionner des chaussées neuves.

La pouvoir portant peut être défini par la capacité d'un sol à supporter une charge sans se déformer.

VII.a. Démarche de calcul

VII.1 Trafic (comptage enquête)

Détermination du niveau de réseau principale (R_{Pi})

Détermination de la classe de trafic des poids lourds à l'année

De la mise en service (T_{PLi})

Climat

Ressources en matériaux

Etude géotechnique

Détermination de la classe du sol support

Choix d'une ou plusieurs variantes

Dans le cas des sols de faible portance le recours à une couche de forme devient nécessaire ce qui permet un sur-classement de la portance du sol support et parfois il faut utiliser les géotextiles.

Géotextiles sont des matériaux tissés, non tissés ou tricotés perméables à base polymères utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

VII.b. Terrassements et Couches de chaussée

VII.b.1. Terrassements

Les travaux de terrassement comprennent notamment le décapage de la terre végétale (20 centimètres en moyenne), les déblais, remblais, les purges, le travail de terrassement est constituant à déplacer des quantités importants de matériaux dans divers buts. Le remaniement des terrains naturels entraîne une modification généralement définitive de la topographie et du paysage, en créant des ouvrages en terre soit en remblais soit en déblais, et les dispositifs de drainage et la couche de forme.

Les travaux de terrassement sont basés sur trois actions principales : L'extraction, le transport, la mise en œuvre. Il peut exister des travaux de grandes ampleurs (travaux routiers, aménagement de plate-forme, travaux ferroviaires ou fluviaux).

L'emprise chargée du terrassement peut être amenée à coordonner d'autres tâches associées telles que ; maçonneries, descente d'eau, enlèvement de terres, fouilles de puits, pilonnage, reprise de terre végétale.

Le terrassement définira la pérennité de votre ouvrage. Avec cet article sur les différentes étapes des travaux de terrassement, il est particulièrement important de bien préparer un terrain. Il faut étudier une à une les différentes phases du terrassement et découvrir les engins utilisés pour chaque action. Selon la nature des travaux à envisagées plusieurs action nécessaires à l'étude de sol vont devoir être envisagées. L'analyse du sol est à la fois géologique et géotechnique. Le professionnel va devoir déterminer quelles opérations seront à effectuer lors du terrassement en fonction des propriétés physique et propriétés mécaniques du terrain à terrasser

Lors dans travail de terrassement, le terrassier peut être confronté à des difficultés liées aux matériaux et à la géologie.

VII.b.2 Couches de chaussée

Le rôle d'une couche de chaussée est de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus aux trafics. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, il peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes.

En général le nombre de couches dépend de la caractéristique du sol, les constructions de couches posent des problèmes différents, car chaque couche joue un rôle différent avec les autres.

Les fonctions de la couche de roulement sont :

La répartition des charges et l'amortissement des efforts dynamiques engendrés par les circulations.

La stabilité longitudinale et transversale de la voie.

Le drainage et l'évacuation rapide des eaux de pluie.

Les fonctions des autres couches sont :

D'assurer, en complément de la couche de roulement, la répartition des charges transmises au niveau de la plate-forme

D'assurer la transition granulométrique entre la couche de roulement et la plate-forme.

De protéger la plate-forme du ruissellement des eaux de pluie qui s'infiltreraient relativement vite à travers la couche de roulement et de protéger la plate-forme du gel.

CHAPITRE II :
Causes des dégradations et évolutions des
voies

Introduction :

La structure routière est sensible à plusieurs agents agressifs qui résultent des dégradations différentes sur les couches des chaussées,

L'ingénieur doit concerner les différentes pathologies affectant les voies. Le trafic et le temps conduisent inévitablement à une dégradation de la chaussée.

I. L'eau est la première ennemie de la route

I.1. Dégradation progressive de la structure

L'eau provoque une perte de la capacité portante du sol provoquant l'ouverture de fissures ou de phénomènes d'arrachement de la couche de roulement pouvant conduire à une incapacité d'exploitation des voies.



Figure XIV: dégradation

I.2. Des effets induits

L'eau peut provoquer sur des éléments voisins de la route des dégâts ayant des conséquences sur la structure routière ou son exploitation (glissement de terrain par exemple)



Figure XV: glissement de terrain

I.3. Une destruction des chaussées

Lors de très fortes pluies, les débits d'eau peuvent provoquer l'arrachement des éléments de drainage des sols passant sous les voies de circulation qui par la suite détruisent la route.



Figure XVI: destruction des chaussées

II. Les différents types de dégradations de chaussées et méthodes de diagnostic

II.1. Le relevé de dégradations

A la base de toute stratégie d'entretien figure généralement un relevé des dégradations de surface et une interprétation associée.

CHAPITRE II : Causes des dégradations et évolutions des voies

En effet, la dégradation de surface constitue dans la plus par des cas, un des indicateurs les plus précoces et les plus sensibles de l'évolution des caractéristiques structurelles et de surfaces des chaussées.

Pour que le relevé de dégradations soit le plus efficace possible, il est nécessaire de bien définir les dégradations et leur niveau de gravité.

Cette présentation est un léger rappel du catalogue des dégradations de surface des chaussées de 1998 (méthode d'essai n°52 complément à la méthode d'essai N° 38-2 relative au relevé de dégradation de surface des chaussées).

Un revêtement altéré laisse entrer l'eau, modifie l'uni longitudinale, impacte la macrotexture et donne une mauvaise image de l'état réseau routier.



Figure XVII: relevé de dégradations

II.2. Les déformations de chaussées

II.2.1. L'orniérage

L'orniérage est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement résulte d'un passage répétée des roues de véhicules.

La profondeur d'ornière est la distance perpendiculaire maximale entre la base d'une règle et la zone d'un contact de l'indicateur avec la surface de chaussée à un endroit précis, mesurées d'un les traces des roues.

Cet indicateur permet de caractériser deux types d'orniérages :

CHAPITRE II : Causes des dégradations et évolutions des voies

L'orniérage à petit rayon

L'orniérage à petit rayon est en général dû à une mauvaise stabilité d'un enrobé mou dans les efforts pentes ou rampes ou dans les zone de freinages.

L'orniérage à petit rayon, dont la profondeur d'ornière est comprise entre 2 et 5 cm.

Causes : formulation inadéquate/trafic lourd canalisé/ zone de rampe, de freinage ou à forte giration/maniabilité élevé de l'enrobé.

Evolution : augmentation de la profondeur d'ornière et formation de bourrelets.

L'orniérage à grand rayon est en général dû à la fatigue de la chaussée par tassement des couches inférieures dues à un défaut de portance du sol, cette déformation peut évoluer vers un faïençage.

L'orniérage à grand rayon dont la profondeur d'ornière est supérieur à 5 cm.

Les déformations permanentes transversal et longitudinale qui se créent sous le passage des roues et la largeur transversale inférieure

80 cm alors que la largeur longitudinale supérieure à 80 cm de large.



Figure XVIII: L'orniérage à grand rayon

Causes : sous-dimensionnement de l'assise/réduction de portance du support dû à un mauvais drainage ou l'action du dégel.

Evolution : faïençage dans l'ornière.

II.2.2. L'affaissement de rive

L'affaissement de rive est l'enfoncement prononcé localisé entre le bord et la bande de roulement de rive.



Figure XIX: L'affaissement de rive

Causes : sous-dimensionnement de l'assise ou sol support ou épaulement/drainage défectueux/retrait hydrique du sol (climat-végétation).

Dégradation aggravée par la présence d'eau qui reste stockée dans le bas-côté.

Evolution : faïençage au droit de l'affaissement.

II.2.3.L'affaissement hors rive (flashe)

L'affaissement hors rive (flashe) est un enfoncement ponctuel, flashe quand l'affaissement à une forme circulaire.



Figure XX: L'affaissement hors rive (flashe)

Causes : sous-dimensionnement localisé de l'assise ou du sol support/présence d'eau provenant des couches supérieures (défaut de portance).

Evolution : faïençage puis départ de matériaux.

II.3. La fissuration

Introduction :

Parmi les différents modes de détérioration des chaussées, la fissuration est une dégradation majeure qui touche l'ensemble des chaussées avec différentes origines et différents mécanisme de développement. Elle est à la source d'une accélération des dégradations propres à chaque type de chaussée par la diminution de la portance du support lors de

l'infiltration d'eau et par la perte des conditions mécaniques nécessaires au maintien de la résistance de matériaux.

Les causes les plus courantes sont les phénomènes de retrait thermique et la fatigue due aux charges du trafic. Il existe aussi de nombreuses autres raisons qui peuvent jouer un rôle décisif dans la fissuration d'une chaussée comme les effets du gel/dégel, l'effet de la géométrie de la route et les procédures constructives.

II.3.1. La fissuration transversale

Fissuration sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée, isolée ou périodique d'espacement variable sur tout ou partie de la largeur de chaussée.



Figure XXI: Fissuration transversale

Causes : remontée en surface d'une fissure de prise ou de retrait thermique ou remontée d'un joint transversal de mise en œuvre de l'assise traitée ou joint de reprise d'un tapis d'un enrobé.

Evolution : ouverture fine au débit puis ramification, épaufrure puis faïençage puis départ de matériaux.

II.3.2. La fissuration longitudinal en band de roulement

Fissuration sensiblement parallèle à l'axe de la chaussée apparaissant exclusivement dans une bande de roulement.

Les fissurations longitudinales peuvent détruire une route si des mesures correctives ne sont pas prises à temps.

Il a déjà été dit que cette détérioration peut être observée aussi bien sur les nouvelles routes que sur celles qui ont été reconstruites, renforcées ou élargies.



Figure XXII: Fissuration longitudinal

Causes : fatigue de la structure par excès de contrainte de la ou des couches traités sous-dimensionnement ou décollement. Défauts de construction (mouvement de sols, retrait sol argileux).

Evolution : ouverture fine au début puis ramification, épaufrure puis faïençage puis départ de matériaux.

II.3.3. La fissuration longitudinale non spécifique aux bandes de roulement

Fissuration sensiblement parallèle à l'axe de la chaussée, non limitée aux bandes de roulement



Figure XXIII: Fissuration longitudinale non spécifique aux bandes de roulement

Causes : remontée d'un joint de mise en œuvre ou d'une fissure dans les couches inférieures/ gonflement différentiel du au gel.

Evolution : ouverture fine puis ramification et épaufre.

II.3.4. Fissuration d'adaptation

Fissuration provenant de mouvements de sols : tassement d'épaulements, retrait hydrique, tassement de remblais,...



Figure XXIV: Fissuration d'adaptation

Causes : voir définition

Evolution : anarchique (fonction de la localisation sur la chaussée).

II.3.5-Faïençage

Faïençage est un ensemble de fissures, plus ou moins rapprochées, formant un maillage caractéristique de la fatigue d'un revêtement en enrobés à la suite d'usure ou de faiblesse des sous couches.



Figure XXV: Faïençage

Causes : fissures de fatigue dédoublées, décollement de la couche de roulement, portance insuffisante

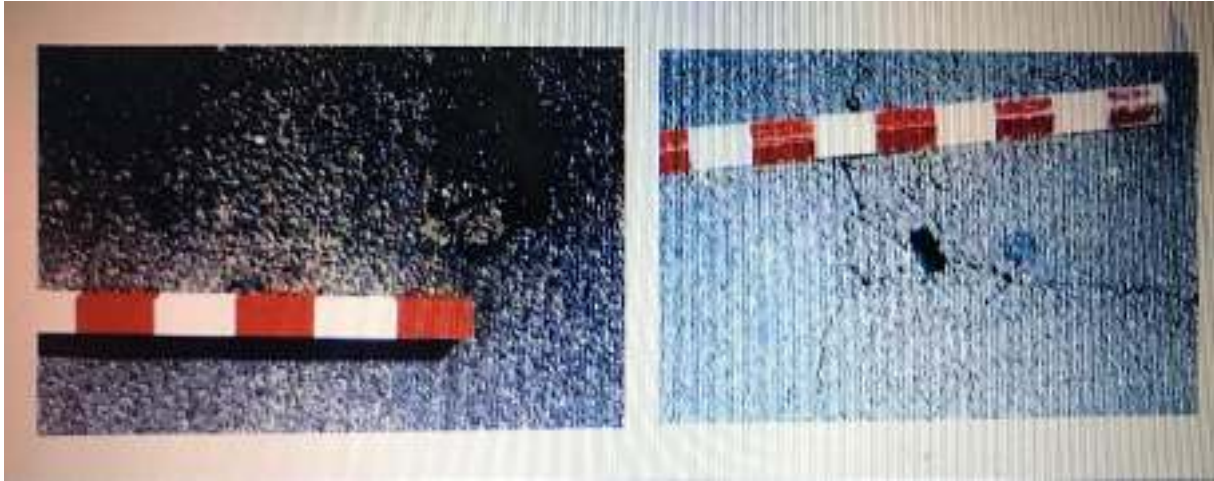
Evolution : ouverture progressive des fissures jusqu'au départ des matériaux.

III- Mode de dégradation

Introduction

La chaussée subit, au cours de sa vie, plusieurs types sollicitations. Le trafic des véhicules lourds ainsi que les variations thermiques sont les principales causes de dégradation d'une route.

Les phénomènes ci-dessus provenant de la dégradation des assises sont autant de points faibles dans lesquels l'eau s'infiltré et accélère la ruine de la chaussée pour arriver dans la plupart des cas à des départs de matériaux en surface de la chaussée, aux niveaux des fissures, des faïençages pouvant aller jusqu'à la formation de nids de poule.



III.1. Les dégradations spécifiques aux couches de roulement en enrobés

III.1.1. Glaçage ou indentation

Usure ou enfoncement des gravillons de la couche de roulement conférant à la surface.



Figure XXVI: Glaçage ou indentation

Cause du glaçage : manque de dureté des granulats.

Cause indentation : surdosage liant/qualité insuffisante du liant.

Evolution : apparition par plaque au début puis généralisation à l'ensemble de la bande de roulement.

III.1.2. La fissuration anarchique

Fissuration provenant du vieillissement de l'enrobé.

Cause : âge de l'enrobé, utilisation d'un liant dur, liant trop chauffé à la fabrication des enrobés.

Le plumage : erreur de formation (température application basse).

La pelade : couche d'accrochage (support trop déformable).

Le ressuage : excès de liant.

Le peignage : rampe d'épandage.

CHAPITRE III :

Entretien Routier

Introduction

Les deux mots Entretien routier permettent à eux seuls de situer les grands contours du contexte de ce chapitre : Entretien (amélioration ou maintien du niveau de service), routier (concerne les chaussées et leurs accotements, les dépendances et leurs équipements).

Les infrastructures routières sont essentielles à la performance de toutes les économies nationales en apportant de nombreux avantages socio-économiques. Leur entretien est indispensable pour préserver et exploiter ces bénéfices. L'importance de l'entretien doit être reconnue à sa juste valeur par les décideurs, et il doit être correctement financé et géré pour être pleinement rentable. Un niveau d'investissement inapproprié ou une mauvaise gestion du réseau routier auront des conséquences graves sur l'économie et la prospérité du pays.

Le présent rapport démontre l'importance de l'entretien routier en présentant des éléments probants rassemblés à travers le monde.

I. Définition et caractéristiques

I.1. Définition

Selon la norme AIPCR, l'Entretien routier est l'ensemble des actions à réaliser sur les routes afin que leur état demeure satisfaisant et pour qu'elles offrent une sécurité suffisante à des vitesses appropriées et à faible coût pour les usagers.

I.2. Caractéristiques

On distingue deux types fondamentaux :

L'Entretien préventif : ensemble des tâches entreprises pour prévenir les dégradations pouvant apparaître sur la route et ses dépendances.

L'Entretien curatif : ensemble des opérations à réaliser pour corriger les défauts apparents sur la route et ses dépendances.

Ces deux types d'entretien se déclinent en deux catégories qui sont :

L'Entretien courant : Il s'agit des travaux partiels de remise en état de sections de routes présentant, d'une année à l'autre, des dégradations pouvant être dues à des accidents ou à des faiblesses localisées de la structure.

L'Entretien périodique : La notion d'entretien périodique implique, le vieillissement des routes, les dégradations suffisamment fréquentes et répétées. Si ces dégradations ne sont pas reprises d'une façon globale elles entraîneront la destruction de l'ouvrage. Un entretien périodique comme son nom l'indique se réalise suivant une périodicité dont la valeur n'est pas.

Forcément constante. Seules des inspections systématiques pourront permettre d'en déterminer l'opportunité.

II. L'entretien routier et ses techniques

II.1. L'entretien routier

Le secteur routier occupe une place importante dans les échanges entre les populations des pays en voie de développement. Mais les routes connaissent des problèmes pendant leur période de service. Alors intervient l'entretien routier pour les corrections des dégradations observées.

Ces dégradations apparaissent pour plusieurs raisons.

II.2. Réalisation de l'entretien routier

II.2.1. Les méthodes de collecte et d'identification des dégradations

Un bon entretien dépend essentiellement de deux facteurs à savoir :

La restitution des données relevées sur le terrain

L'appréciation de la gravité et l'étendue des dégradations, et une mauvaise manière.

Plusieurs systèmes de relevés existent et sont le plus souvent effectués. On distingue :

II.2.1.1. Méthodologie VIZIR assistée par ordinateur

La méthode VIZIR émane de l'expérience des ingénieurs des Laboratoires des Ponts et Chaussées des années quatre-vingt (80) apportant leur concours aux bureaux d'études français qui travaillaient principalement à l'étranger. C'est dans ce sens que la méthode a été expérimentée pour la première fois dans les continents Asiatique et Africain. Elle se base sur l'hypothèse suivante:

L'état de surface de la chaussée est un paramètre indispensable pour l'évaluation de la qualité de la chaussée, parfois il représente l'élément principal d'identification voire même le seul.

En effet, d'après l'expérience de ces ingénieurs, l'état de surface traduit fidèlement la qualité de la route dans 60% des cas, dans d'autres cas elle n'est qu'un élément d'un diagnostic plus complexe qui fait intervenir d'autres critères.

VIZIR est au bout de la chaîne une méthode scientifique de détermination des besoins d'entretien et de remise en état des chaussées.

VIZIR a pour but de :

Quantifier et classifier les dégradations des routes.

Fournir l'image de l'état du réseau de surface revêtue à un instant donné.

Identifier les zones d'équi-qualité classifiées en trois (3) niveaux de dégradations.

Évaluer la qualité des réseaux routiers.

Le principe consiste à attribuer une note de qualité aux dégradations par association d'un indice de dégradation et de la classe de déflexion, à quantifier et à prendre des décisions concernant les dégradations.

Dans cette méthodologie, les diverses dégradations sont relevées et codifiées en fonction de leur gravité et de leur étendue. On distingue en outre deux grandes familles de dégradations.

Dégradations de type A : Ce sont celles qui affectent la structure de la chaussée;

Dégradations de type B : Elles ne concernent normalement que la superficie

Il doit présenter ci – après l'essentiel de la méthode VIZIR

Quantifications des dégradations A et B. On distingue trois niveaux de gravité aux différentes dégradations.

II.2.1.2. Méthode VIZIROAD

De prime abord VIZIROAD est un système facilitant la collecte de données en automatisant l'inspection visuelle des chaussées. De ce point de vue, il se substitue à la méthode manuelle souvent entachée d'erreurs et fournit également des schémas itinéraires permettant d'estimer l'**indice de viabilité IQS** (indice de qualité structurelle) de la chaussée et tout ce qui a trait au drainage qui sont des paramètres fondamentaux servant à qualifier les stratégies d'entretien optimaux à prévoir. Mais il permet également d'évaluer le niveau de service de la chaussée en déterminant la vitesse et le temps de parcours qui sont des paramètres essentiels d'évaluation de la viabilité de la chaussée. Et tout ceci, pour donner un caractère d'universalité au système VIZIROAD non à adopter mais à adapter en fonction de l'expérience de l'utilisateur. En plus VIZIROAD peut être considéré comme un progiciel car intégrant plusieurs sous logiciels et un dispositif intéressant le Bump Integrator qui est un appareil de mesure profil métrique à grand rendement défini l'appareil de classe I. Ce dispositif mesure l'un des paramètres de la chaussée.

L'un est spécifié par un paramètre appelé l'**IRI (International Roughness Index)**. C'est avec ce paramètre que le spécialiste routier parvient à déterminer les zones d'équi-qualité c'est-à-dire

CHAPITRE III : ENTRETIEN ROUTIER

les tronçons relevant d'une même solution d'entretien. Vu de ce côté, VIZIROAD parvient à identifier sans difficultés les parties très dégradées d'un réseau routier, donc c'est un outil important voire incontournable dans l'évaluation de l'entretien sous contrainte budgétaire. En outre, l'IRI possède des applications directes avec HDM-4 en déterminant le coût d'exploitation des véhicules et globalement intervient dans l'analyse du cycle de vie de la chaussée.

Enfin VIZIROAD permet non seulement de dialoguer avec d'autres logiciels d'aide à la décision comme VISAGE, GEOMAPS et ARCVIEW via les masques de saisie générés par le système mais aussi il fournit les coordonnées géodésiques de tous les points traversés avec une bonne précision planimétrique fournie par son GPS intégré. Sommairement, c'est un système qui automatise la collecte des dégradations localisées ainsi que leurs causes probables par l'intermédiaire des schémas itinéraires ainsi que linéaires via l'IRI; c'est à partir de ces deux données fondamentales qu'il parvient à se prononcer sur l'entretien adéquat. Le système VIZIROAD est composé:

De deux claviers complémentaires de 24 touches chacune, dont les icônes sont interchangeables selon les données à collecter.

D'une entrée pour les impulsions de distance sur le clavier de gauche.

D'une entrée supplémentaire pour les impulsions comptées par le BUMP Intégration.

D'un ordinateur portable où sont interconnectés deux claviers.

D'un programme software, fonctionnant sur Windows 3.1 ou Windows 95/98 et distribué sur CD avec le manuel «online» contenant des icônes de trafic et une petite icône d'éditeur.

II.2.1.3. Méthode VIZIRET

Système mis au point dans le cadre des recherches menées au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), VIZIRET, est un système de gestion de l'entretien d'un réseau de routes non revêtues. C'est une des méthodes employée pour qualifier et quantifier les dégradations. Les dégradations prises en compte par la méthode VIZIRET sont: les déformations, la tôle ondulé (groupe des déformations). Les nids de poules, les ravines (groupe des arrachements). Chaque dégradation est définie par son nom et son niveau de gravité, ce dernier étant lié à l'importance des travaux qu'il engendre.

II.2.1.4. SOURCE ET SOURCE PLUS

SOURCE (*Standard Overall Ultralite Road Care Estimate* ou suivi normalisé, global et léger de la qualité de la gestion de la route) est une méthode normalisée de suivi de performances des réseaux routiers, qui procure, à moindres coûts et sans recours à aucun appareillage, une image sommaire mais fidèle des réseaux routiers structurants, à l'échelle nationale (moyennant des mesures combinées vitesses-trafics par une méthode de véhicule flottant).

La méthode SOURCE a été conçue, testée et mise au point par l'initiative de gestion de la route (IGR) en 1998-2000. Elle est aujourd'hui pleinement opérationnelle.

Source, a été conçue pour répondre à un certain nombre de questions : Comment se porter réellement un réseau routier ? Comment les programmes de travaux neufs et de réhabilitation vieillissent-ils ? Quel est le niveau de service effectif assuré aux usagers ? Comment ce niveau de service évolue-t-il ?

Cependant, la corrélation binaire (vitesse-uni), établie par SOURCE, ne permettait pas de prédire l'uni à partir de la vitesse seule. On a donc introduit une nouvelle variable (La rectitude du tracé) d'où Source PLUS.

Considérant l'hypothèse qu'un modèle à 3 variables sera suffisamment robuste pour prédire l'uni à partir du couple (vitesse + rectitude), avec une précision raisonnable.

Nous précisons que la méthode utilisée par le logiciel intègre le volume de trafic afin de mesurer la quantité de service rendu, en termes de production du transport routier.

II.2.2. L'auscultation

En entretien routier, on dispose de deux types de modes d'auscultation des chaussées à savoir :

Le mode visuel ou examen visuel

L'utilisation des matériels d'auscultation

II.2.2.1. Mode visuel

Comme on l'entend, l'auscultation des chaussées se fait par la vue ou observation sans utiliser d'appareils. En général dans

Ce mode, on ressort les données suivantes :

Localisation du tronçon : points kilométriques, limites des communes, ponts d'intersection avec d'autres voies de communication et avec d'autres cours d'eau.

Profil longitudinal : pente longitudinale, niveau de la chaussée par rapport au terrain (remblais, déblais).

Profil transversal : nombre et largeurs des voies de circulation, nature et élévation des bordures, nature et largeur de l'accotement, type de drainage superficiel.

État de surface : Situation et ampleur des dégradations : fissures (longitudinales, transversales), des faïences, ornières et autres

Situation et surface des zones réparées

II.2.2.2. Les matériels d'auscultation

En Entretien routier, il doit disposer d'un certain nombre d'équipements lui permettant de mesurer certaines caractéristiques physiques d'une chaussée.

A- Le déflectographe

C'est l'instrument de base pour caractériser la portance d'une route. Le principe de l'essai consiste à mesurer l'affaissement ou déflexion de la chaussée sous passage d'un essieu standard de 13 tonnes.

B- L'analyseur de profil en long

Il permet de mesurer l'uni ou le confort de la chaussée. Le principe consiste en la mesure des débattements angulaires d'un bras porte - roue par rapport à un module inertiel.

C- LEGERPHO

Il sert à relever les dégradations visibles à la surface de la chaussée sous forme de photos. C'est un appareil intéressant pour les sections de route très dégradée avec un trafic élevé.

D- Le rugolaser

C'est un appareil qui permet de mesurer la hauteur au sable. Le principe consiste à mesurer en continu et à vitesse élevée la hauteur moyenne des aspérités du revêtement.

E- Le carottage

La carotteuse est un appareil qui s'utilise en Entretien routier mais n'est pas considérée comme un matériel d'auscultation. La carotteuse permet de vérifier l'épaisseur des couches et leur collage entre elles ; de réaliser des prélèvements pour des analyses ; de faire des prélèvements sur des fissures et de voir ce qui se passe en dessous.

II.2.3. Les techniques d'entretien routier

Du point de vue de l'entretien, on distingue habituellement sur le terrain, deux sortes d'interventions liées à l'importance des dégradations et aux moyens à mettre en œuvre.

II.2.3.1. Le petit entretien

C'est une opération qui consiste en général à limiter l'aggravation des désordres. On y distingue :

A- Les emplois partiels

Ils constituent une technique traditionnelle largement employées sur les dégradations très localisées et relativement de faible épaisseur. Ils se constituent de :

B- Les points à temps

Ils constituent une intervention juste à temps et consistent à répandre de l'émulsion de bitume et de gravillons sur les dégradations superficielles de la couche de roulement afin d'en stopper l'évolution, tout en redonnant une certaine étanchéité.

C- Les emplois partiels aux enrobés à froid

C'est une méthode type pour le traitement des dégradations nécessitant la mise en œuvre de matériaux en épaisseur non négligeable (nids de poule, flaches). Cette intervention doit être réalisée dès l'apparition des dégradations. Pour ce faire, il convient de généraliser les patrouilles et d'en augmenter la fréquence après les périodes pluvieuses. La méthode pour atteindre une bonne efficacité, implique la mise en œuvre de matériaux dans des conditions bien définies (préparation du support, utilisation d'enrobé, compactage suffisant).

D- Le pontage des fissures

C'est un des procédés les plus intéressants pour le traitement des fissures longitudinales (bords de fouilles). Cette technique permet de résoudre les problèmes d'imperméabilisation superficielle des revêtements fissurés. Réalisée dans les conditions requises, cette technique assure pour le revêtement réparé : l'Adhésivité, la Cohésivité élevée, élasticité dans une large gamme de température, ainsi que l'imperméabilité, l'inertie vis-à-vis des eaux agressives et une très bonne tenue au vieillissement.

E- Colmatage des fissures

Le colmatage des fissures est une technique d'entretien préventif. Le produit utilisé doit répondre à des exigences précises, être appliqué au bon moment et selon des techniques rigoureuses. Le colmatage ne corrige pas un drainage inadéquat, une capacité structurale déficiente ou un revêtement présentant des problèmes de désenrobage.

Il limite l'infiltration dans la fondation, prolonge la qualité de roulement et retarde la formation de fissures multiples, l'affaissement, les nids-de-poule ainsi que les opérations de resurfaçage. Un revêtement présentant des ornières, des fissures multiples et des dépressions au niveau des fissures transversales n'est pas un site propice au colmatage.

F- L'entretien et l'assainissement de la route

Ils'agit de maintenir en bon état les réseaux d'assainissement de la chaussée afin d'éviter les stagnations ou écoulement en surface et les infiltrations dans le corps de chaussée.

G- Le dérasement d'accotement

Le dérasement d'accotement consiste à enlever la terre en excès sur la partie surélevée et ramener celui-ci au niveau de la chaussée.

H- Le désensablement

Cette tâche concerne l'enlèvement de sable envahissant la plateforme de la route et dont l'épaisseur ne dépasse pas les 10cm.

I- Le débroussaillage

Cette tâche concerne les travaux de débroussaillage manuel des accotements, des talus, des fossés, et sur une largeur minimum de deux (2) mètres à partir de l'extérieur des fossés ou du pied de talus. Cette largeur peut varier en fonction des exigences de sécurité et de visibilité.

Elle comprend notamment :

J- Les saignées

Ce sont des abaissements localisés de l'accotement réalisés perpendiculairement à la chaussée; elles permettent à l'eau qui s'écoule de rejoindre le fossé.

II.2.3.2. Entretien de réseau

A- Le fossé

Creusé parallèlement à la route pour faciliter l'écoulement de l'eau, il doit être régulièrement curé et les ouvrages annexes nettoyés.

B- Les ouvrages maçonnés

Les ouvrages qui permettent à l'eau de surface de descendre dans un collecteur à un niveau inférieur doivent être régulièrement entretenus et vidés des déchets.

II.2.4. Le gros entretien

Dans cette rubrique, on regroupe généralement les travaux nécessitant des moyens particuliers et disponibles dans les entreprises routières.

II.2.4.1. L'entretien de surface

Dans ce cas, la structure de la chaussée n'est pas en cause et on veut simplement restaurer les caractéristiques de surface. Pour cela on utilise : Les enduits superficiels, les Bétons Bitumineux Minces et Très Minces à des épaisseurs spécifiques.

II.2.4.2. Les travaux de reprofilage

Cette opération est nécessaire lorsque l'on veut reprendre des déformations du profil en long et du profil en travers sans engager des dépenses trop importantes. Ces chaussées sont souvent des structures souples et déformables, il convient de ne pas utiliser des matériaux très rigides. Elle consiste à améliorer la structure de la voie défectueuse en y apportant des matériaux et lui redonner un profil technique qui permet d'évacuer les eaux pluviales (profil en toit) ou à améliorer les pentes (virages).

II.2.4.3. Le rechargement

L'objectif est d'améliorer les caractéristiques de la surface mais aussi d'apporter un complément à la structure de la chaussée.

II.2.4.4. Le renforcement

Il joue le même rôle que le rechargement sauf qu'il ne se réalise pas de la même façon. Il remédie aux différents défauts de la structure d'une chaussée existante et adapte la portance de la chaussée au prochain trafic.

II.2.4.5. La réhabilitation

Les chaussées les mieux construites et les mieux entretenues se dégradent sous l'effet des efforts répétés auxquels elles sont soumises et qui les fatiguent et si d'autant plus que la durée de service prévue par les concepteurs est dépassée, il est nécessaire de faire une réhabilitation par :

Soit l'exécution d'une couche de renforcement sur la chaussée même, pour que la structure de celle-ci soit beaucoup plus élevée que l'ancienne structure (cas de réhabilitation avec renforcement);

Soit la reconstruction totale de certaines couches de l'ancienne structure de la chaussée (cas d'une réhabilitation sans renforcement).

PARTIE II

CHAPITRE I :

Généralités Sur le

Ponts

Introduction :

Un ouvrage d'art se définit comme une construction de grande importance nécessitée par le rétablissement d'une voie de communication (route, voie ferreuse, canal etc...), un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau, un dispositif de retenue des eaux, et autre. Le terme « d'Art » qui accompagne le mot ouvrage pour traduire que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances ou l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie, connaissances appelées « **art de l'ingénieur** ».

Un ouvrage d'art peut être qualifié selon le milieu dans lequel il est construit : ouvrage d'art terrestre, ouvrage maritime, ouvrage d'art de montagne, ouvrage d'art fluvial etc....

Les ouvrages d'art de type pont sont construits pour une durée de vie avoisinant la centaine d'années. Durant cette période et ce pour assurer leurs fonctions, ils doivent être maintenus dans un niveau de service acceptable permanent grâce aux différentes opérations d'entretien.

Cependant, soumis à l'action conjuguée des variations climatiques, du trafic (croissance et agression des essieux surchargés), et bien sûr du temps, ces ouvrages présentent des signes de fatigue - fissures et déformations - qui, amplifiés en cas d'absence d'interventions spécifiques donnent naissance à des désordres pouvant conduire à leur destruction.

I. Les différents types d'ouvrages d'art

Selon leur nature et leur rôle on distingue :

a) Les ouvrages de franchissement ou lié à des voies de communications :

Pont, tunnel, écran acoustique.

b) Les ouvrages de protection ou de soutènement : destiné à la stabilisation des pentes ou des soutènements des terres afin de se prémunir des effets des mouvements des terres (écroulements, glissements, coulées des boues etc....) : mur, rideaux de palplanche, parois moulé, clouage de massif etc....

c) Ouvrages de retenues d'eau : barrage (en béton ou en terre et enrochements), digues (remblais longitudinaux naturels ou artificiels).

II. LE PONT

II.1. DEFINITION

Un pont est un ouvrage destiné à mettre en communication deux points séparés par un obstacle ou permettant le passage sans croisement à niveau de deux courants de circulation. En technique, nous disons qu'un pont est un ouvrage lancé ou jeté pour permettre le franchissement d'un obstacle naturel ou artificiel : vallée, rivière, canal de navigation, canal

d'irrigation, une dépression, une zone d'inondation, une zone marécageuse, un lac, un bras de mer et d'autres voies de communication.

II.2. UNE BREVE HISTORIQUES DE PONT

Les premiers ponts se limitent probablement à un arbre, à des rondins placés en travers d'un cours d'eau, à des lianes ou des cordes tendues au travers d'une étroite.

L'historique des ponts peut se résumer en différentes périodes ci-dessous :

Période empirique : celle de la construction des ponts voute, en maçonnerie par les romains avant 1500.

Période de grand savant : newton, Galilée, Hooke cette période se détermine par naissance de l'acier (de 1500 à 1800).

Période, de 1800 à 1900 : c'est le début de l'industrialisation d'où le début du chemin de fer et de la construction de 1^{er} pont métallique pour chemin de fer. Il y'a aussi naissance du béton armé.

Période de 1900 à 1950 :

Apparition des voitures d'où des ouvrages d'art routiers.

Période de 1900 à 1975 :

Développement de l'autoroute. A partir de 1975 à cause de la crise pétrolière, et de l'apparition des écologistes, on assiste à un frein dans la construction des routes et des ponts.

Les grandes lignes de l'évolution de la construction des ponts ces dernières années sont les suivantes :

Evolution du trafic en flèche : le trafic à évoluer qualitativement et quantitativement.

Evolution des techniques de constructions : les techniques mettent à la disposition des ingénieurs, des moyens les plus en plus sûrs ;

Du point de vue matériaux

Du point de vue calculs

II .3. CLASSIFICATION

Les ponts sont classifiés des plusieurs manières et les critères permettant de classer les ponts sont :

Selon les matériaux constitutifs

Ponts en bois

Ponts en métal

Ponts en béton

Ponts en béton armée

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES PONTS

Ponts en béton précontraint

Ponts en maçonnerie (de moellon, de briques)

Ponts mixtes à pré dalle (poutrelles et dalle en béton armé)

Selon la portée

Ponceaux (dalots) : $L < 8$ m

Pont à faibles portées : $0 < L \leq 30$ m

Pont à portées moyennes : $30 \text{ m} \leq L \leq 60 \text{ m}$

Pont à grande portées : $150 \text{ m} < L < 300 \text{ m}$

Pont suspendu : $L > 300 \text{ m}$

Selon le type de charge

Pont rail : pour un chemin de fer - Pont route : pour un automobile

Passerelle : pont pour piétons

Pont canal : pour canal de navigation d'irrigation

Aqueduc

Oléoduc

Selon le niveau de la circulation

Pont à tablier inférieur

Pont à tablier supérieur

Pont à tablier suspendu

Selon les niveaux des berges

Pont horizontal

Pont incliné longitudinalement

Selon la mobilité : un pont dont le tablier est mobile sur une partie ou sur la totalité de la portée pour permettre le passage pour des raisons de sécurité ou pour donner passage à un autre trafic.

Pont fixe

Pont flottant

Pont levant verticalement : un pont dont le tablier subit une translation verticale tout en restant horizontal.

Pont tournant autour d'un axe vertical

Pont roulant horizontal

Pont démontable

Pont basculant

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES PONTS

Selon l'orientation du pont à la voie

Pont droit (normal à la voie ou perpendiculaire)

Pont oblique par rapport à la voie (pont biais)

Selon le fonctionnement mécanique (RDM)

Pont isostatique : pont dont les éléments de réduction peuvent être obtenus en utilisant les trois équations d'équilibre. Parmi ces ponts on peut citer :

Les ponts en console

Les ponts cantilevers

Les ponts à travées indépendantes

Les arcs à trois rotules ou à trois articulations

Pont hyperstatique : pont dont les éléments de réduction seront déterminés en faisant intervenir les déformations pour avoir les équations supplémentaires. Parmi ces ponts on peut citer :

Les ponts des cadres

Les ponts à travées continues

Les ponts à béquilles

Les ponts bow-strings

Les arcs encastrés aux deux extrémités

Selon la forme des poutres

Poutre caisson

Poutre à âme plein

Poutre en treillis

Poutre à hauteur constante ou variable

Poutre dalle

Selon durée de vie envisagée

Ponts provisoires

Ponts définitifs

Selon la configuration générale

Ponts voutes, en forme de courbe avec la concavité tournée vers le bas, à tablier inférieur, à tablier intermédiaire ou à tablier supérieur.

Ponts à poutres, à poutres sous chaussées et à tablier inférieur (les poutres de rives se désignent aussi par les poutres parapets)

Ponts dalles

Ponts suspendus

Ponts à béquilles

Ponts cantilevers

II .4. TERMINOLOGIE DU PONT

Tablier : C'est le platelage (dalle) où circulent les véhicules.

Poutres principales (maîtresse) : Ce sont les poutres de pont dans le sens de la circulation.

Entretoises : Ce sont des poutres transversales d'un pont, c'est à dire perpendiculaires aux poutres principales et ont pour rôle d'éviter le basculement.

Longrines ou longerons : Ce sont des poutres longitudinales qui s'appuient sur l'entretoise.

Contreventements : Ce sont des poutres diagonales servant à reprendre les efforts verticaux dus à la charge permanente, au train de charge et les efforts horizontaux dus au freinage, à la variation de la température et les transmettent à la fondation.

Culées : Appuis extrêmes du pont dont le rôle est de retenir les terres et de transmettre les charges à la semelle dans le bon sol.

Piles : Appuis intermédiaire du pont.

Appuis : Ce sont les supports sur lesquels repose le tablier.

Appareils d'appuis : Ce sont des éléments du pont placés entre le tablier et les appuis, dont le rôle est de transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitations, routières ou ferroviaires, et de permettre des mouvements de rotation ou de translation.

Joint de dilatation : Ouverture (espace) servant à la dilatation de la structure.

Dos d'âne : Bosse en béton armé permettant la diminution de la vitesse du véhicule.

- **Glissière de sécurité** :

Dalle flottante : C'est une dalle de transition construite avant d'accéder sur le pont pour éviter les affaissements devant le pont.

Travée : C'est la partie du pont située entre deux appuis successifs.

Portée : C'est la distance entre axe de deux appuis successifs.

Ouverture : C'est la distance entre nu de deux appuis.

Gabarit : C'est la section géométrique nécessaire pour le passage qu'il faut laisser au-dessus et en dessous du pont. Elle est de 5 m.

Voûte : Pont en maçonnerie en forme d'un arc.

Lit mineur : Largeur du niveau des plus basses des eaux

Affouillement : C'est l'érosion sous-marine.

Pieux : Colonne en béton ou en métal servant à reporter les efforts du pont sur le bon sol.

Couche de revêtement : La dernière couche posée sur notre pont-route.

Garde –corps : C'est un dispositif de sécurité bordant les ouvrages (ponts) sur sa longueur essentiellement pour assurer la sécurité des circulations.

III. Les ponts en béton armé

a) Les matériaux : l'utilisation des liants hydrauliques ayant les propriétés du ciment est une technique comme par les romains au 3^e siècle avant JC, qui a été oubliée puis redécouverte à la fin du 19^e siècle de notre ère. Vicat invente le ciment artificiel comme en 1850 sous le nom de ciment Portland.

Malgré que l'utilisation de pièces de bois ou de fer pour renforcer les maçonneries soit très ancienne, des tirants métalliques ont été utilisés pour équilibrer la poussée de voûtes.

A partir du milieu du 19^e siècle (1849), les premières inventions en béton armé apparemment par les précurseurs que furent les François Lambot (barque en BA en 1849) Coignet (Terrasse en BA en 1852) mais surtout Monnier (caisses à fleurs en BA en 1867).

D'un pont de 15 m de portée construit en 1871 en Angleterre, des milliers de ponts en BA ont été construits à la fin du 19^e siècle et des portées de 50 m ont été atteintes.

Mal connu au départ, l'usage du béton armé a été la première fois en France par les instructions de 1906.

b) Evolution des ponts en BA. A partir des instruments de 1906 réglementant l'usage du BA, la construction des ponts en BA s'est développée suivant 3 grands types : dalle, poutre et arc.

- Les dalles ont longtemps été utilisées pour de petites portées et pour les couvertures de ponts
- Les ponts à poutres de formes très variées, avec un tablier constitué d'une dalle et de poutres (ou nervures) rectangulaires, ou à talons pour des portées plus grandes.

Les poutres peuvent être :

- Latérales ou sous chaussées
- De hauteurs constantes ou variables
- A âme pleine, en caisson ou triangulé
- A travées indépendantes ou à travées continues ou cantilever comportant une travée indépendante dans la partie centrale appuyée sur des consoles (en prolongement des travées de rive)
- Les ponts en arc : ont beaucoup été utilisés car le béton comme la pierre se prête bien à la construction en arc où les contraintes développées sont essentiellement des compressions. Les

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES PONTS

arcs sont à 3 articulations (isostatiques) ou à 2 articulations, ou même à béquilles verticales qui sont en fait des cas particuliers d'arc.

L'arc et le tablier étant en général distincts, on distingue :

- Les arcs à tablier supérieur (tablier porté par des poteaux ou des voiles transversales ou longitudinales)
- Les arcs à tablier inférieur ou intermédiaire (tablier suspendu entièrement ou en partie à l'arc).

Avec quelques dizaines de m de portée ou départ les ponts en arc en BA ont été construits avec des portées de plus de 300 m : pont de Grandes villes 305 m (Australie, 1964).

Actuellement les ponts en arc en BA ont tendance à être abandonnés à cause du prix et des sujétions dues au cintre car concurrencé par les ponts à poutres métalliques ou en béton précontraint.

C) situation actuelle et tendances : le béton armé est actuellement en matériaux très courant dans la construction

Des ponts et les ponts en BA sont très divers :

Les ponts à poutres sous chaussée : à travées indépendantes ou continues, de hauteurs constantes ou variables, à âmes pleines ou en caisson.

- Les ponts en arc en BA ont été beaucoup construits pour les portées, moyennes et surtout pour les grandes portées jusqu'aux années 1960. Actuellement ils sont très peu utilisés.
- Le béton armé ne s'impose actuellement que dans la construction de ponts de petites portées inférieures à 20 m.
- Le béton armé reste très utilisé pour les dalles de couverture de ponts métalliques et de ponts en BP, mais surtout pour les appuis (culées et îles) de tous les types de ponts.

Le règlement du béton armé de 1906 (instructions de 1906) a connu plusieurs modifications ou révisions en 1934, en 1960, en 1968 (règles CCBA 68), en 1970 (règles CCBA 68modifiées 70), en 1983 et 1991 (règles BAEL).

CHAPITRE II :

La Pathologie Des

Ouvrages D'art

INTRODUCTION :

Les ponts vieillissent, mais compte tenu de leur importance sociale, ils doivent être l'objet de soins particuliers pour qu'ils puissent assurer leurs fonctions pendant la durée de vie qui leur a été assignée. Ce sont en effet des ouvrages, qui, même s'ils ne présentent pas tous un aspect architectural, constituent des vecteurs économiques, de transports et de sécurité, construits dans le but d'assurer un service alliant haut niveau de qualité, sécurité et fiabilité.

Au vu du temps et des forts investissements consentis pour leur construction, la fermeture même temporaire, pour une opération d'entretien ou de réparation ou dans le cas plus grave la destruction de ces ouvrages, bouleverserait de façon sensible les activités des divers usagers, et dans un plus grand ensemble celle du pays tout entier.

Les ponts ne sont pas toujours en bon état, et il n'est pas aisé de diagnostiquer une pathologie, puis de prescrire le bon remède. Ainsi, depuis plusieurs années, la gestion du patrimoine suggère quel'on surveille, ausculte et évalue, de manière régulière, l'ensemble du parc d'ouvrage d'art. Le premier objectif est d'assurer la sécurité des utilisateurs. Ensuite la gestion du patrimoine doit permettre de respecter voire d'allonger la durée de vie des ouvrages.

Dès leur mise en service, les ouvrages de tous types entrent dans un processus de vieillissement qui durera toute leur vie. Les ponts, en particulier, peuvent connaître des désordres de gravité très variable dont les causes sont multiples. Ces désordres, qui apparaissent au niveau des matériaux et de la structure, ont des conséquences sur la stabilité et la longévité de l'ouvrage. Connaître l'origine de ces désordres permettra dès lors de mieux concevoir et construire les ouvrages, mais aussi de trouver des solutions adéquates pour les réparer.

Nous proposons ici les origines probables des principaux désordres suivis d'une classification des plus fréquemment observés pour faciliter l'exposé dans le chapitre suivant, des méthodes permettant de les caractériser et de les traiter au mieux.

I. ORIGINES DES DESORDRES

Les actions variables (du trafic et climatiques) et/ou accidentelles sont en grande partie responsables de la dégradation des ouvrages, mis à part les défauts aux moments de la conception et de la construction qui peuvent aussi être des causes d'apparition des désordres.

Erreurs de conception

Les erreurs les plus fréquentes concernent le poids propre de la structure : masse volumique du béton et poids des équipements sous-estimée, erreurs de mètres et « oubli » du poids de certaines pièces.

Au cours de la vie d'un ouvrage, le poids de certains équipements peut évoluer de façon significative. Dans le cas d'un pont routier par exemple, la couche de roulement de la chaussée peut être rechargée. Egalement, nous pouvons noter la non-prise en compte des risques de corrosion dans la conception : absence de chape d'étanchéité, évacuation des eaux mal conçue provoquant des ruissellements sur les poutres, joints de chaussée laissant l'eau ruisseler sous le tablier.

Erreurs d'exécution

D'une façon générale, les erreurs d'exécution sont dues à une insuffisance des documents d'exécution, entraînant des improvisations aux conséquences souvent graves, ou bien à des failles dans l'organisation ou le contrôle de la qualité, ou encore au non-respect de certaines règles de l'art. De nombreux désordres sont dus à des plans de ferrailage incomplets ou « illisibles » parce que l'on a voulu mettre l'ensemble de l'information nécessaire à l'exécution sur un seul dessin ou Dans les cas courants.

La qualité de mise en œuvre des différents matériaux qui est principalement en cause. Sur le chantier, le béton peut être d'une qualité médiocre pour de multiples raisons : irrégularité de fabrication sur chantier, délais de transport non contrôlés depuis une centrale de béton prêt à l'emploi, reprises de bétonnage mal exécutées, mise en œuvre dans des coffrages mal nettoyés, ségrégation due à une hauteur de chute trop importante, etc.

Actions dues au trafic

Les ponts servent de support au trafic qui est l'une des causes majeures de leur vieillissement, tant par ses effets extrêmes que par ses effets répétitifs (fatigue). Le mode de transport ainsi que ses caractéristiques n'ont cessé de se modifier avec le temps : en effet, la vitesse des véhicules a augmenté. Face à cet état de chose, une inquiétude majeure se pose pour les anciens ouvrages dont les notes de calcul n'existent plus. Il est donc parfois difficile de savoir s'ils ont été dimensionnés pour supporter le trafic auquel ils sont soumis.

II. Actions dues au climat

Une fois construits, les ponts font partie intégrante du paysage et sont de ce fait soumis aux aléas de l'environnement qui les entoure. Trois facteurs essentiels sont à considérer : **la température, l'eau et le vent.**

II.1. La température

L'action de la température sur les matériaux est généralement bien connue : lorsque la température est élevée, elle est, par exemple, une des causes de la fissuration du béton en cours de durcissement du fait de son séchage naturel (fissuration due au retrait de dessiccation). À l'opposé, un bétonnage par temps froid, sans précautions particulières, engendre un risque de gel de l'eau du béton qui le détériore par expansion. Egalement, la forte augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment crée des écarts de température entre le cœur des pièces coulées et leur surface, et accroît le risque de fissuration lors du refroidissement. L'acier est également sensible à la température : lorsque l'on fait varier la température d'une éprouvette d'acier soumise à un effort de traction, on constate une variation parallèle de ses caractéristiques de ductilité.

L'eau

L'eau est également une source de désordres pour les ouvrages. Pour les structures en béton, c'est l'infiltration de l'eau dans le matériau qui est néfaste (phénomène de gel/dégel, corrosion des armatures). Son action mécanique se manifeste également sur les structures à travers les phénomènes d'affouillement et d'abrasion. Ces phénomènes peuvent être dus à l'action des courants hydrauliques et à la présence d'obstacles dans le lit des cours d'eau qui sont à l'origine de l'érosion des protections des appuis et de parce qu'une partie d'ouvrage a été représentée à l'échelle d'un timbre-poste. Désordres dans les fondations. La présence de corps flottants comme les arbustes déracinés est à l'origine de chocs sur les parements des ouvrages.

Le vent

Son action sur les structures se manifeste de nombreuses manières : cela va de l'effet de dessiccation du béton frais en surface à la pression dynamique appliquée aux structures responsable de la fatigue et à leur mise en mouvement éventuelle.

II.2. Actions accidentelles

Nous comptons ici les crues, les séismes, les chocs de véhicules et les incendies. Les coefficients de sécurité étant déterminés de manière probabiliste, le risque absolu et la

répétition fréquente ne sont pas considérés. L'ouvrage, quel qu'il soit, subira donc des agressions extérieures et sa durée de vie en sera influencée.

III. PRINCIPAUX DESORDRES RENCONTRES

Les ponts en béton armé étant constitués essentiellement de deux matériaux : le béton et l'acier (armatures), nous examinerons ici tour à tour les désordres auxquels ils peuvent être exposés.

Certains désordres, « apparents » sont des conséquences directes des phénomènes extérieurs auxquels la structure est soumise ; C'est notamment le cas de la corrosion des armatures et de l'éclatement du béton. En revanche, d'autres phénomènes comme l'alcali-réaction ne sont imputables qu'au matériau lui-même. En effet, l'interaction entre les granulats siliceux et les alcalins de la pâte de ciment provoque un gonflement du béton en présence d'eau.

Altérations du béton

Le béton subit de nombreuses agressions physiques, physico-chimiques et chimiques dont l'intensité est liée à la vitesse de pénétration de l'eau dans son système capillaire. Ses qualités s'altèrent lorsque les agents extérieurs réagissent avec les hydrates du ciment en formant des composés expansifs ou solubles.

Dégradation d'origine physique ou mécanique

Les divers processus d'érosion et d'abrasion sont observables au niveau des appuis des ponts du fait du courant et des chocs de corps flottants contre les parois. Les symptômes les plus courants sont :

L'écaillage de la surface

L'exposition à certains phénomènes climatiques comme le vent, un écoulement (ruissellement, suintement) peut provoquer la détérioration des parements de l'ouvrage. Cela se traduit par la disparition de la pâte de ciment

CHAPITRE II : La Pathologie Des Ouvrages D'art

□ Le gonflement de la surface

Sur toute ou une partie, il est accompagné généralement d'une fissuration en réseau. L'intensité des dégradations dépend, évidemment, de la plus ou moins grande porosité du béton et de son degré de saturation.

IV. Dégradation d'origine physico-chimique

Le retrait provoque souvent une fissuration du béton, orientée ou multidirectionnelle. Certaines fissures peuvent apparaître une ou deux heures après le bétonnage, provoquées par le tassement du béton frais dans les coffrages et le ressuage qui l'accompagne, ou par une sédimentation du béton résultant d'un défaut de compacité, et reproduisent souvent le tracé de la nappe supérieure de ferrailage.

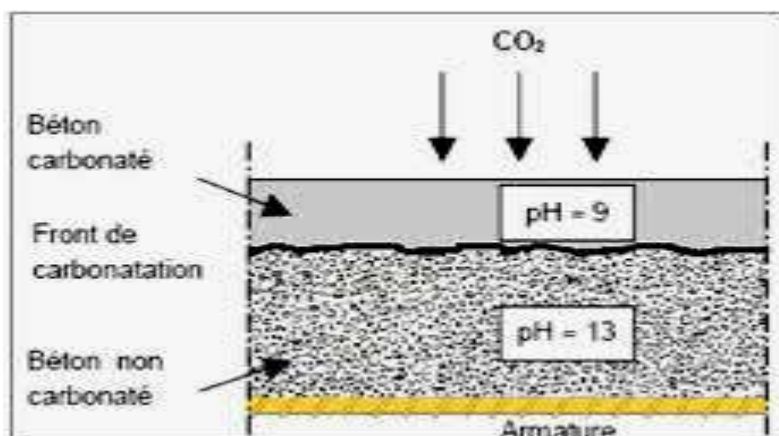
D'autres fissures apparaissent justes après le décoffrage en formant un maillage de quelques décimètres de côté. Enfin, des fissures peuvent apparaître plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage. Ces fissures sont créées par le retrait de dessiccation, encore appelé retrait à long terme, dû au départ de l'eau en excès dans le béton.

IV.1 Dégradation chimique

Elle se produit à plusieurs niveaux, mais nous ne citerons que les plus rencontrés :

□ Action du dioxyde de carbone

Le béton, presque toujours en contact avec l'air ambiant, est soumis à l'action du dioxyde de carbone. Il réagit avec la majorité des hydrates du ciment et cette réaction porte le nom de **carbonatation**. Elle ne se produit que si cet acide peut pénétrer dans les pores du béton, c'est-à-dire si ces derniers ne sont pas totalement obturés. Lorsqu'elle parvient au voisinage des armatures en acier, la carbonatation supprime toute réserve d'alcalinité au niveau des aciers, qui peuvent alors amorcer leur processus de **corrosion**.



□ L'alcali-réaction

Les mécanismes des alcali-réactions au sein des structures résultent, dans leur principe, d'une réaction entre la phase liquide interstitielle contenant des alcalins en quantité importante, et les particules réactives contenues dans les granulats (silice amorphe ou cryptocristalline) ; la chaux et l'humidité créent un environnement propice. La fissuration en réseau est le désordre le plus fréquemment rencontré : **faïençage** avec des mailles de petites dimensions (20 à 50 mm) et une profondeur de fissures assez faible (quelques centimètres).



IV.2 Fissuration

Il est important d'examiner ce désordre en particulier. La fissuration est sûrement le désordre le plus facilement observable et le plus caractéristique. Pour le béton armé, c'est un phénomène normal. Il faut néanmoins la contrôler et veiller à ce qu'elle n'atteigne pas des proportions dangereuses pour la stabilité de la structure. En effet, le problème de la fissuration, n'est pas son existence, mais son évolution. Le plus souvent, la fissuration traduit un état de contrainte anormal, de traction, de cisaillement (...), dépassant la limite de rupture du matériau (récapitulatif en **annexe 1**). Les principales caractéristiques des fissures sont:

- L'âge, difficile à estimer dans la plupart des cas.
- Le tracé, souvent révélateur de leur origine.
- L'ouverture, mesurable à l'aide d'appareils spécialisés.
- La profondeur, permettant de distinguer les fissures *traversables*, *aveugles* ou de *surface*.
- L'activité et/ou l'évolution, permettant de distinguer les fissures *inertes* des fissures *actives*.

Corrosion de l'acier

En plus de son vieillissement à l'intérieur du béton sous l'action d'agents tels l'eau ou de réactifs chimiques, l'acier se corrode, c'est-à-dire se transforme en oxydes, sulfures,

CHAPITRE II : La Pathologie Des Ouvrages D'art

carbonates, etc., ou en une autre forme plus stable par rapport au milieu environnant. Cela entraîne une dégradation de ses propriétés et la baisse de sa résistance.

L'**annexe 2** dresse un aperçu plus global (classification suivant l'indice de gravité) des défauts apparents observés sur les ouvrages en béton armé.

Cas particulier des équipements

Les équipements des ponts contribuent largement à assurer le niveau de service requis, permettant aux usagers de franchir un obstacle sans autres risques que ceux liés à leur propre comportement. Seulement, ces équipements subissent aussi l'effet du temps : ils vieillissent, s'usent ou se détériorent.

Une attention particulière doit être portée aux désordres affectant les appareils d'appui (liés soit à un mauvais choix au moment du projet, soit à un manque d'entretien) et les joints de chaussée (détérioration du fait des sollicitations dynamiques répétées du trafic) car ils peuvent trahir/induire des dysfonctionnements structuraux.

Un même ouvrage peut être soumis à plusieurs types de désordres qui auront des origines et des faciès différents. L'expert, auscultant un ouvrage « malade », recensera tout d'abord les désordres puis cherchera les causes de ces pathologies

CHAPITER III :

Principes Pour

L'évaluation Et

Réhabilité de Ponts

En Béton Armé

Introduction

L'évaluation d'un ouvrage existant consiste à en apprécier l'état physique et mécanique. En d'autres termes, elle consiste à caractériser son état général, ses différents éléments et les matériaux constitutifs de manière qualitative et/ou quantitative. Elle est nécessaire lorsqu'il est envisagé de modifier ses conditions d'exploitation ou de remédier à certains désordres révélateurs d'une pathologie naissante ou avancée : elle sert donc de bilan de santé pour son gestionnaire. En règle générale, l'évaluation d'un pont comporte deux phases successives : le **diagnostic préliminaire** et le **recalcul**.

Le diagnostic préliminaire débouche sur l'élaboration d'un programme d'investigations qui seront nécessaires à l'aboutissement d'un diagnostic précis et à une évaluation quantitative fiable de la *sécurité structurale*. Il permettra aussi l'élaboration du projet de réparation ou de renforcement. Ces investigations permettent d'entreprendre, en deuxième phase, le recalcul proprement dit de l'ouvrage, qui est un élément essentiel de l'évaluation de sa *fiabilité structurale*.

Les deux principaux objectifs du recalcul sont les suivants :

- Une estimation aussi précise que possible de l'état de contrainte probable de la structure, compte tenu, le cas échéant, des désordres constatés ;
- Une évaluation des marges de sécurité vis-à-vis du dépassement de certains états limites irréversibles ou de rupture.

Vu la complexité de cette phase, qui exige plein de calculs et qui ne saurait être figée puisqu'elle dépend des caractéristiques de chaque ouvrage, nous allons dans ce qui suit, nous attarder sur le diagnostic préliminaire des ponts.

Les différentes investigations menées dans le cadre du diagnostic préliminaire, peuvent comprendre :

- Une actualisation des dimensions et des dessins de l'ouvrage.
- Un certain nombre d'essais, effectués et interprétés par un laboratoire ou une entreprise spécialisée.
- Une évaluation aussi précise que possible des propriétés des matériaux.

Mais elles consistent surtout aux opérations d'inspection et d'auscultation dont le but est de détecter les risques d'affaiblissement des matériaux et de la structure avant que la stabilité de l'ouvrage ne soit mise en cause.

I. Recensement des désordres

L'inspection des ouvrages permet le recensement des désordres. On distingue entre autres :

L'inspection détaillée périodique

Effectuée à des intervalles de temps régulier et planifié (généralement tous les 6 ans) par des spécialistes, elle a pour but de vérifier l'état général de l'ouvrage et de repérer l'ensemble des petits désordres que possède l'ouvrage.

La surveillance renforcée

Elle est mise en place lorsque le type de désordres ou leurs étendues peuvent avoir des conséquences sur la stabilité de l'ouvrage. Un suivi attentif est décidé afin de prévenir l'évolution anormale de ces désordres et d'expliciter les causes de la détérioration accélérée del'ouvrage.

La haute surveillance

Instaurée uniquement pour des ouvrages défectueux qui pourraient avoir des conséquences à court terme sur la sécurité physique des usagers ou de tiers.

La procédure pour inspecter un pont est relativement simple

Tout commence par la visite de l'ouvrage : l'agent, en charge de l'évaluation, va relever l'ensemble des désordres apparents à l'aide d'un cadre de procès-verbal de visite. Pour cela, il doit s'aider du catalogue de défauts et désordres. Il en existe un pour chaque type d'ouvrages (pont béton armé, pont précontraint, ponts métalliques, murs de soutènement...). Ce dernier répertorie les désordres et défauts connus et les classe selon leur effet sur la résistance structurelle de l'ouvrage. Il tente dans la mesure du possible de renseigner l'observateur sur les causes des désordres recensés.

D'application :

La mise en œuvre peut être décomposée en plusieurs étapes :

- Structuration du patrimoine en type d'ouvrages à évaluer.
- Classification des ouvrages (suivant le matériau principal constitutif).
- Évaluation des différentes parties constitutives de l'ouvrage.
- Classement final de l'état de l'ouvrage par attribution d'une note d'évaluation globale de l'état de l'ouvrage. Des méthodes pour la gestion (incluant l'inspection) des ouvrages ont été

développées dans plusieurs pays notamment en France par le MEEDDAT avec l'appui du SETRA. Elles ont pour objectif de connaître, gérer et pérenniser le patrimoine. L'**annexe 3** présente les plus utilisées.

II. L'auscultation de l'ouvrage

L'auscultation définit l'ensemble des examens et mesures spécifiques faisant le plus souvent appel à des techniques élaborées, destinées à approfondir la connaissance réelle d'un ouvrage. Elle vient en complément de l'inspection visuelle détaillée des ouvrages et permet d'apprécier la qualité des matériaux en place et de caractériser le mode de fonctionnement actuel de la structure. Les techniques d'auscultation diffèrent suivant la nature des désordres constatés, mais les choix sont guidés par l'idée que l'on peut se faire des causes probables de la pathologie constatée. L'évaluation des matériaux s'appuie à la fois sur des études et analyses de prélèvements et sur des méthodes physiques d'examen en place. Les moyens permettant de caractériser le fonctionnement de la structure sont aussi très variés.

II.1 Etudes et analyses de prélèvements

Les échantillons, pour ne pas aggraver l'endommagement potentiel de l'ouvrage, sont prélevés dans les zones moins vitales en nombre et en taille réduits. Les mesures et analyses effectuées sur ces prélèvements en laboratoire portent sur les **paramètres mécaniques** des matériaux, mais aussi **physiques** comme *la densité, la porosité et la teneur en eau*. Les résultats obtenus se doivent d'être corrigés pour tenir compte de l'effet d'échelle liée à la taille des échantillons, mais ils servent surtout de référence. En effet, ils ne sont pas forcément représentatifs de l'ouvrage et doivent être complétés avec les examens réalisés sur les matériaux en place.

II.2 Examen du matériau en place

Il est assez rare que l'on procède à l'examen en place de l'acier d'un pont. Pour le béton par contre, plusieurs méthodes sont possibles à savoir : la **méthode sonique**, la **radiographie** ou **gammagraphie**, la **radioscopie** et l'emploi d'un **scléromètre**.

Cette dernière méthode, de loin la plus simple de toutes, permet d'apprécier la dureté superficielle d'un parement en béton. Cet instrument est constitué d'une masselotte guidée dans un tube que l'on projette à l'aide d'un ressort taré sur une enclume dont l'extrémité est en contact avec le béton.

La mesure du rebondissement de la masselotte permet, d'estimer la résistance en compression du béton examiné.

III. L'étude des fissures

Comme mentionné plus haut, le relevé détaillé de la fissuration, ainsi que le suivi de son évolution dans le temps, constitue un élément de diagnostic très important. La fissuration du béton est en effet la manifestation extérieure du mode de fonctionnement de la structure et traduit assez clairement ce fonctionnement, à la condition d'être correctement interprétée. D'une manière générale, deux appareils sont employés :

Le fis uromètre

Il permet de déterminer l'ouverture d'une fissure à un moment donné. Sous la forme d'une règle transparente, il mesure le plus souvent l'ouverture au dixième de millimètre.

L'extensomètre LVDT

Il est souvent intéressant de suivre l'évolution d'une fissure sur un intervalle de temps plus ou moins long. L'extensomètre LVDT (Liner Variable Différentiel Transformer) est un capteur électrique/ électronique que l'on encastre de part et d'autre de la fissure et qui indique de manière quantitative l'ouverture ou la fermeture de la fissure. Ce type de capteur peut également servir en zone non-fissurée, et dans cette configuration, à mesurer la déformation dumatériau.

IV. Etude du fonctionnement de la structure

Le suivi d'un ouvrage comporte la vérification périodique de ses déformations éventuelles sous charges permanentes, en les comparants, lorsque cela est possible, à un état de référence déterminé immédiatement avant sa mise en service. Pour ce faire, on peut opérer un **nivellementtopographique**.

Il existe d'autres appareils pour ausculter les ouvrages ; nous en présentons un résumé comme suit :

Tableau 1: Resume des principaux instruments de mesure employes sur les ouvrages d'art

Désordres	Instruments	Caractéristiques
Fissures	Fissuromètre	Mesure manuelle Permits de repérer toutes les fissures
	Extensometer	Mesure automatisée et locale
Déplacements/ Déformations	Tachéomètre	Nécessité de 3 références fixes et indépendantes de l'ouvrage
	Fil INVAR	Mesure de fleche Résultats très précis
	Accéléromètre	Intéressant si associé à une autre instrumentation(fissuration) Permet de mesurer oscillation du tablier
	Inclinomètre	Mesure des angles
	Jauges. D'extensométrie	Permet de remonter aux constraints dans le matériau

Note

À la fin de l'évaluation, une pré-étude technico-économique des différentes solutions envisageables permet au gestionnaire des ouvrages de prendre une décision soit de remplacement total ou partiel, soit de réparation ou de renforcement, voire de maintien en l'état avec mesures particulières d'exploitation et de surveillance.

V. REHABILITE D'UN PONT EN BETON ARME

Techniques de réhabilitation : La préparation de la surface de béton en vue de l'application d'un produit de réparation englobe toutes les étapes qui suivent l'élimination du béton dégradé. Elle dépend du type de réparation et du nombre de ces étapes qui s'imposent lorsqu'on n'enlève pas ou guère de béton. Une bonne préparation permet de disposer d'une surface sèche, égale et plane qui est exempte de salissures, de poussière, d'huile et de graisse. L'élimination des contaminants de surface assure un contact direct entre les primaires et produits de réparation et le substrat, augmentant la surface réelle et la rugosité du support, et assurant une meilleure adhérence du produit appliqué. Cependant, l'état optimal de la surface de béton dépend du type de réparation envisagé et de l'état du support.

Tableau 2: Types de préparation en fonction du type de dégradation

Type de réparation	Méthode de préparation
Réparation des surfaces	Décapage chimique, Nettoyage mécanique, Scabification, Décapage ou pulvérisation au jet, Gravure à l'acide, Décapage à vapeur
Réparation des fissures	Élimination des substances au jet à haute et basse pression, les parties nécessaires

Tableau 3: Traitements et réparations en fonction des désordres

Désordres	Traitements et réparations
Bullage	Ragrée la surface avec un produit adapté
Ecaillage	Traiter les armatures corrodées, compenser la réduction du diamètre des armatures, reprendre au mortier ou béton à base de liants hydrauliques modifiés.
Fissures	Traiter la fissure ouverte avec un joint souple étanche Traiter les armatures corrodées; reprendre au mortier de réparation; ajouter un complément d'armatures Faire une injection dans la fissure et renforcer si nécessaire avec le TFC

Solutions de réhabilitation :

Pour la réfection des bétons, le mortier, le béton doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Tenue verticale sans coffrage
- Montée en résistance rapide et de résistance mécanique supérieure au béton support
- Adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support
- Imperméabilité à l'eau et aux agents agressifs

- Coefficient de dilatation thermique et de module d'élasticité équivalente au béton support
- Bonne protection des aciers
- Les produits doivent être conforme à la norme NF P 18-840 ou être admis à la marque « NF Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique. Pour effectuer la réparation des bétons il existe principalement deux méthodes.

Ragréage

Le ragréage est la technique traditionnelle de réparation des bétons. Il permet de reconstituer les sections d'armatures qui ont disparues, de stopper le phénomène de corrosion des aciers par passivation et de protéger les armatures par reconstitution manuelle ou mécanique de l'enrobage à l'aide de mortier de réparation. La technique de réparation du béton consiste à :

- Eliminer les zones de faible cohésion.
- dégager l'armature corrodée jusqu'à une zone où celle-ci est saine.
- Nettoyer l'armature.
- remplacer l'armature si la perte de section est trop forte.
- passiver les armatures corrodées par application de produit.
- reconstituer manuellement l'enrobage de béton à l'aide de mortier de réparation.
- Mise en place d'une protection de surface. Il est nécessaire de bien dégager toutes les armatures corrodées et de les passiver sur la totalité de la corrosion sous peine de corrosion rapide des aciers sains et non passivés.

Il sera important de traiter un élément dans son ensemble sous peine que la En effet, pour les zones traitées, le pH sera à nouveau élevé protégeant ainsi les armatures.

Réparation ne soit pas pérenne.

Mais dans les zones adjacentes, le pH du béton peut y être beaucoup plus faible. Il peut alors se développer une nouvelle pile de corrosion où l'ancienne anode devient cathode et inversement.

Après réparation, l'ensemble de l'ouvrage restera sensible aux agressions, notamment aux chlorures. Il sera nécessaire de compléter la réparation par un revêtement imperméabilisant qui protégera le béton contre ces chlorures.

Ragréage – Application manuelle

La mise en place des mortiers est réalisée classiquement à la truelle en serrant fortement pour éviter les bulles d'air et obtenir ainsi une bonne adhérence.

Pour le dressage des arêtes, une règle peut être utilisée.

Ragréage – Bétonnage en place

Coulage ou injection de béton ou mortier Pour des volumes de béton importants ou des épaisseurs de béton d'au moins 5 à 10 cm :

- Pour le coulage, possibilité de connexions avec le support
- Ajustement nécessaire des coffrages
- éviter l'emprisonnement d'air...

Béton projeté

La réparation à l'aide de béton projeté consiste à piquer les zones dégradées et à projeter sur l'ensemble de l'ouvrage du béton par voie humide. Cette surépaisseur de béton est moins poreuse, plus durable et peu sensible aux attaques par les chlorures. Le béton projeté n'étant pas encore carbonaté, il stoppe l'évolution de la carbonatation, le temps d'être lui-même complètement carbonaté. Il empêche également la pénétration d'humidité grâce à sa faible porosité, ce qui protège les armatures de la corrosion. Il est nécessaire d'appliquer des inhibiteurs de protections sur la structure sous peine d'avoir une corrosion.

Le béton projeté est un béton mis en œuvre à l'aide d'une lance, par projection sur une paroi sous l'impulsion d'un air. La technique consiste à :

- Malaxer et homogénéiser les constituants (ciment, granulats, adjuvants, fibres...) à l'état sec ou en incorporant l'eau de gâchage.
- transporter le mélange par des canalisations avec l'aide d'une pompe.
- projeter le matériau sur le support à revêtir grâce à un jet d'air comprimé. Il existe deux techniques de projection : par voie sèche ou par voie mouillée. La différence entre les deux techniques est liée à la manière dont l'eau de gâchage du béton est introduite (soit lors du malaxage du béton, soit lors de l'application du béton). Projection par voie sèche Le mélange sec (granulats, ciment et éventuellement accélérateur de prise et adjuvants) est fabriqué dans un malaxeur puis propulsé par de l'air comprimé vers la lance de projection. Cette lance est associée à une lance de projection d'eau (et éventuellement d'accélérateur de prise sous forme liquide).
- Projection par voie mouillée Le mélange comprenant l'eau est stocké après malaxage dans une trémie. Il est ensuite pompé jusqu'à la lance de projection et projeté grâce à l'air comprimé.

Intérêt de la technique La technique du béton projeté permet de réaliser des couches de béton de faible épaisseur qui épousent le support et y adhèrent parfaitement. Elle est utilisée en travaux neufs ou en réparation d'ouvrages anciens (réparations locales, confortements d'ouvrages, renforcements de structures...).

Le choix de la technique de projection est fonction :

- De l'importance du chantier. La technique par voie sèche qui offre une grande souplesse d'utilisation est privilégiée pour des chantiers de faible importance ou nécessitant des arrêts fréquents.
- De la nature des travaux à effectuer.
- Des cadences de réalisation souhaitées : la technique par voie humide permet des capacités de production élevées.
- Des performances mécaniques à obtenir : la technique par voie sèche permet d'obtenir des résistances élevées.

Réalisation

Les opérations de bétonnage comprennent la succession des étapes suivantes :

- Préparation du support.
- mise en place des armatures : treillis soudés, barres.
- Projection du béton par passes successives.
- mise en œuvre d'une couche de finition éventuelle et protection parcoure.

Reconstitution de l'enrobage

La reconstitution de l'enrobage peut se faire à l'aide de béton projeté. Cependant, cette surépaisseur entraîne une surcharge de la structure pour laquelle une vérification structurelle devra être réalisée au niveau d'exécution.

Injections :

Il s'agit d'un autre système de réparation de fissures et de brèches passives, applicable à des murs en maçonnerie appareillée ou en brique, qui consiste à introduire un liquide sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure. En durcissant et en adhérant au support, ce liquide restitue à l'élément endommagé sa continuité d'origine. Les caractéristiques du liquide –généralement à base de composants époxydiques– et la pression d'injection varient en fonction des matériaux du mur et de la taille du trou à reboucher.

Les travaux d'injection permettent :

- l'amélioration des caractéristiques mécaniques et physiques du matériau constitutif de l'ouvrage et du sol à proximité immédiate de l'extrados.
- le rétablissement de la liaison de l'ouvrage avec le terrain.
- l'amélioration de l'étanchéité

Réparation avec remplacement d'armatures :

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

- Les traitements de surface : ragréages et injection des fissures.
- La protection du béton et des armatures.
- La régénération des matériaux.
- L'ajout de forces (ou de déformations).
- L'ajout de matière.

Selon l'usage courant, « le traitement de surface » est la technique la plus répandue de part sa simplicité permettant notamment de remédier rapidement aux défauts apparents sur les ouvrages ; dans cette même

- Si désordres limités à une partie de la structure, (cas courants de chocs), les armatures BA sont remplacées après travaux de préparation adaptés
- Si désordres liés à la corrosion et concernent une partie importante de la structure et que l'environnement est agressif, il est envisageable de remplacer les armatures BA par des armatures non corrodables, (inoxydables, matériaux composites).
- les caractéristiques du béton ou mortier de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être compatibles avec les caractéristiques du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage.

Catégorie, nous pouvons classer les méthodes de « protection du béton ». Cependant, la réparation/renforcement de la structure d'un pont en béton armé fait appel le plus souvent à « l'ajout de matière » et plus rarement à « l'ajout de forces ». Quant aux techniques de « régénération des matériaux », seules des expériences en laboratoire ont été menées et l'on ne compte pas encore beaucoup de cas d'application pratique

Le **tableau 3** qui suit, donne une description de chaque technique avec quelques détails concernant le champ d'application et le principe.

Tableau 4: Principales méthodes de réparation/renforcement de ponts en béton arme

Famille	Principe	Différentes technique et procédés
Traitements de surface	Comme le nom l'indique, il s'agit du traitement de la surface des parements des ouvrages.	Ragréage L'opération consiste à mettre un enduit de finition sur une surface maçonnée dans le but de l'aplanir. Il convient pour les défauts.
		Injection des fissures On distingue le traitement de surface, il peut citer : le calfeutrement, le pontage et l'imprégnation.
Protection du béton et des armatures	Elle consiste en l'application des produits pour protéger le béton.	Pour le béton Il conviendra d'employer des produits tels : les hydrofuges de surface, les minéralisateurs....
		Pour les armatures La protection cathodique consiste à abaisser en tout point de l'armature.
Ajout de matière	Elle consiste essentiel à augmenter la section résistance d'une structure.	Pour l'ajout du béton On distingue essentiellement la technique par projection et la technique de de coulage/injection.
		Pour l'ajout d'armature Cette technique consiste,après repiquage du béton existant.

Renforcement avec ajout d'armatures :

Le renforcement d'une poutre par exemple se fait par ajout de béton et d'armatures de capacité portante vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant).

Renforcement par tissus de fibre de carbone

La fibre de carbone est un produit nouveau dans le domaine du BTP sur des ouvrages neufs ou en rénovation. Ce produit innovant a une résistance à la traction de plus 4300 MPA pour le tissu de carbone et 3100 MPA pour les lamelles de carbone contrairement à l'acier qui est compris entre 250MPA et 350MPA. Grâce à ce produit nous pouvons donc renforcer les ouvrages en béton armé sans rajouter de gros éléments.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous notons qu'il existe un grand nombre de techniques d'évaluation et de réparation des ouvrages d'art, dont la complexité d'exécution évolue dans le même sens que la précision et la pertinence des résultats obtenus, mais aussi avec le coût. Il conviendra donc au gestionnaire/propriétaire des ouvrages d'effectuer une bonne classification du patrimoine et de définir ensuite les niveaux d'interventions en fonction de l'importance de chaque ouvrage. D'autre part, la réparation des désordres peut avoir un coût non négligeable sur la durée de vie de l'ouvrage. Leur détection en amont permet de réduire ces coûts en nécessitant des réparations moins contraignantes, elle permet également de mieux planifier la maintenance sur l'ensemble du patrimoine. En effet, l'expérience montre qu'il est préférable d'un point de vue financier, pour le maître d'ouvrage, et structurel, pour l'ouvrage, de favoriser une maintenance préventive plutôt que curative.