

LA PATHOLOGIE DES OUVRAGES D'ART AU MAROC

Rapporteur Coordinateur :

M. ACHRHABI
Chef du Laboratoire Central
des Structures LPEE

Rapporteurs :

M. LAGHRARI
Chef du Service des ouvrages d'Art
DRCR
M. M'HAMDI
Ingénieur au Service des ouvrages d'Art
DRCR
M. Abderrafie YOUSFI
Directeur de MEDEC
M. MAHBOUB
Ingénieur - SEPROB
M. ESPRESSATI
Chef du Laboratoire de physico-chimie
des travaux - LPEE

I - LA PATHOLOGIE

A - Objet

1 - Importance du patrimoine national:

La direction des Routes et de la Circulation Routière a la charge environ de 3600 dalots viaducs et Ponts recensés de différentes ouvertures et portées.

Au sens large le terme ouvrage d'Art englobe aussi les remblais et remblais de grandes hauteurs, les tunnels, les protections et les murs de soutènements intervenant dans la stabilité de la chaussée.

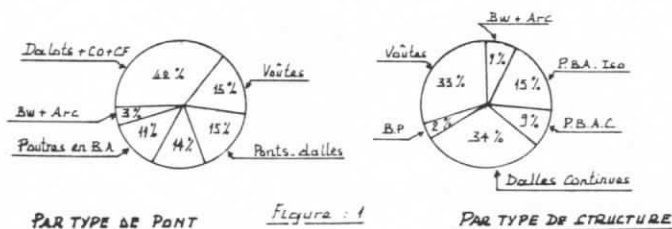
Limitons nous pour l'instant à la stricte définition d'un ouvrage d'Art et disons que la classification de ce patrimoine National par portée est la suivante :

L > 5,00 m.....	2.330
L > 10,00 m.....	1.560
L > 15,00 m.....	1.070

La surface utile est de 600.000m².
Soit un capital de 3.000.000,00 Kdh. (estimation en 1966)

2 - Répartition :

Dans la répartition suivante, les ponts métalliques ne sont pas considérés.



3 - Pourquoi la pathologie ?:

Selon les statistiques faibles à 80 % recueillies par le service des Ouvrages d'Art, 20 % des ouvrages sont dans un état de dégradation avancé soit environ 120.000 m². (figure 2)

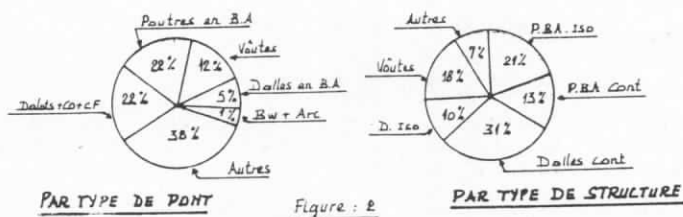


Figure : 2

Les études faites sur les dossiers contrôlés au cours des dernières années par les services Ouvrage d'Art montrent la répartition suivante pour les remises en état. (figure 3).

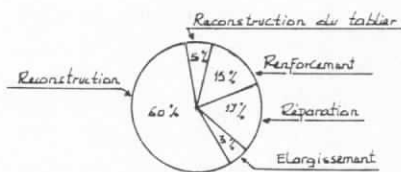


Figure : 3

La reconstruction représente 60% pour les raisons suivantes :

*L'effort important concentré par le D.R.C.R. pour améliorer le N.S. du Réseau Routier.

*La politique délibérée d'entreprendre des opérations de sécurité par la rectification locale du tracé.

La reconstruction n'est pas due automatiquement à l'état très dégradé de l'ouvrage. Elle est surtout une balance entre l'économique et le technique au sens de la sécurité.

B - Méthodologie et objectif

Par analogie avec la pathologie dans le domaine médical, la pathologie des ouvrages d'Art couvre l'ensemble des actions visant à les maintenir en bon état de service. Son contenu englobe une multitude de tâches qui commence par le système de surveillance jusqu'à l'abandon de l'ouvrage pour sa reconstruction :

***Le diagnostic :**

- Le constat des dégradations par un certain nombre de dispositifs prévus par le système de surveillance.

- L'interprétation des désordres.

***L'explication des origines des dégradations**

***Le pronostic consistant à prévoir les conséquences des défauts**

***Les remèdes :**

-La réparation

-Le renforcement

-L'élargissement

-Autres

La connaissance pathologique est utile à plusieurs niveaux. Elle permet tout d'abord de préciser l'objet de la surveillance, orienter les actions des agents chargés de cette tâche et optimise donc l'exercice de leur activité. Elle permet ensuite l'efficacité dans l'acte de gérer un ouvrage en précisant son comportement.

Ce dernier aspect revêt une importance capitale et à juste titre d'ailleurs, car du fait qu'il permet primo au concepteur de prendre en considération les phénomènes de maladie au niveau d'étude et d'intégrer en conséquence les moyens pour y remédier dans le cas échéant. Secondo, la connaissance du comportement de la structure offre au gestionnaire des ponts les éléments à la décision qui s'imposent pour la sécurité du public à temps en cas de désordres d'un ouvrage : "cas clinique".

C - Problématique

1 - Difficulté :

Cependant, une telle connaissance aussi étendue et composée de tâche et mission aussi noble que l'analyse pathologique (diagnostic, pronostic, thérapeutique etc....) ne peut que poser bien des difficultés dans son accomplissement.

Ces difficultés sont d'autant plus aigües que chaque maillon de la chaîne d'analyse fait appel à la maîtrise correcte de disciplines variées et dans certains cas à des moyens d'essais appropriés.

L'analyse pathologique repose avant tout sur l'observation d'un personnel compétant consciencieux, s'acquittant de sa tâche avec minutie perspicacité : c'est un travail certainement ingrat mais assurément bien payant.

2- La notion de sécurité :

La difficulté première émerge lorsqu'il s'agit de définir la notion de sécurité. Concept bien dangereux à manipuler, controversé et à effets contradictoires et pervers :Délicat.

Au sens large cette notion sous entend la sécurité des usagers et des tiers, et celle liée aux matériaux : Aciers passifs ou actifs, le béton, etc.....

Cette difficulté n'est contournable, qu'en faisant appel à une autre notion, express d'ailleurs, qui n'est pas moins imprécise : "l'état de service".

L'état de service d'un ouvrage se définit comme étant :

*L'ouvrage est en bon état

*L'ouvrage supporte le trafic de l'itinéraire sans déformations excessives (compatibilité avec les flèches admissibles).

*Les caractéristiques mécaniques, rendues par la portance et géométriques sont compatibles avec le niveau de service de la Route.

*Le débouché hydraulique de l'ouvrage est compatible avec le niveau de service de l'itinéraire.

Enfin, la sécurité constitue la raison d'être du gestionnaire des ouvrages c'est sa première préoccupation; la finalité de la pathologie, l'objectif du système de surveillance sont d'assurer en tout instant la sécurité des usagers et des tiers. C'est pour cela que cette notion revêt toute sa plénitude.

3 - Les spécificités

Il n'est pas exclu que le pathologiste des ouvrages d'art travaille comme un encyclopédiste. Cette approche est convenable dans la mesure où les désordres et la thérapeutique sont regroupés par famille de maux et de remèdes selon les matériaux, le type de structure, le fonctionnement etc...

Pour définir un ou des canevas limites d'approche.

Cependant, il ne peut s'agir que d'une lère analyse : à l'image d'un médecin généraliste. Lorsque le désordre est avancé, l'ouvrage souffre en silence, Ipso-facto l'intervention du spécialiste ou plus généralement l'équipe spécialisée pluridisciplinaire s'impose.

A partir de cet état, les éléments d'analyse se multiplient et la méthodologie d'instruction des cas pathologiques se complique.

En outre dans le cas général :

- *Chaque ouvrage est un spécimen : un exemple unique

- *Les structures, les fonctionnements et les époques de construction sont très divers.

- *Les atteintes à l'intégrité de l'ouvrage depuis le bas âge ne sont pas toutes signalées par méconnaissance ou par simple négligence.

Dans le cas particulier du parc National :

- *L'expérience peu suffisante accumulée jusqu'à nos jours dans ce domaine.

- *L'absence, et la pénurie des archives dans les dossiers d'ouvrages.

- *L'application jusqu'à présent très d'un système de surveillance.

D - Le diagnostic

1 - Définition :

Ce sont les choses simples qui sont difficiles à définir. C'est le cas du terme diagnostic car c'est quelque chose de vivant, doté d'un contenu complexe. C'est un concept riche.

Le définir revient à déterminer le contour de son contenu ou la manifestation de ses aspects.

Sur le plan géo-analytique le diagnostic constitue l'étape essentielle de la connaissance pathologique d'un ouvrage déjà atteint d'une maladie. Celui-ci consiste à déterminer les désordres de la structure et de ses dépendances vitales. Il est la lère pierre angulaire dans la recherche des origines des dégradations et la condition préalable d'une thérapeutique convenable.

Si la surveillance est la base du pronostic, le bon diagnostic est la condition nécessaire pour une réparation correcte

2- Aspects :

Les contours du diagnostic, quant à eux, sont imprécis et flexibles selon l'étude des cas.

En réalité, le diagnostic commence par l'examen des aspects de surface, cet aspect qui choque, dérange la vue exercée d'un observateur curieux : l'anatomie et la physiologie.

L'expérience est une condition nécessaire, exactement comme un médecin qui examine son patient.

lorsqu'un malade est atteint par la rougeole celle-ci se traduit par des signes bien précis à la surface de la peau et une atteinte de l'organisme dans son ensemble qui s'exprime par la fièvre notamment.

Alors lorsqu'un béton est poreux ou peu compact, ce défaut sera amplifié par la défaillance du système de protection et de drainage le désordre se traduit par colorations différentes de l'aspect de surface, la formation de stalactites ou les deux à la fois.

Ce phénomène comme tant d'autres dérange, inquiète le gestionnaire des ouvrages d'Art.

3-Problématique :

Si la question des aspects de surface est réglée par l'oeil exercé, il n'en va pas de même pour la multitude de défauts qui attaquent la structure d'un ouvrage.

La problématique du diagnostic se pose dans les mêmes termes que celle de la pathologie en général.

Le schéma général repose sur l'interférence, l'interdépendance ou la superposition de 5 centres d'intérêts

-Le matériau

-L'histoire des méthodes et moyens de calcul, et le procédé de construction, celui-ci inclus l'évolution des règlements

-Les problèmes spécifiques de chaque partie d'ouvrage.

-L'exploitation de l'ouvrage.

Dans la réalité, ces différents centres ne sont jamais indépendants. Lorsqu'un organe est malade, les autres en souffrent. De là vient donc toute la problématique du diagnostic.

En effet, la pluralité des signes précurseurs, et des problèmes que le diagnostiqueur doit résoudre, font appel à des disciplines aussi diverses que variées et nécessitant généralement des sondages et des auscultations coûteuses, sans oublier la clef de voute que constitue l'équipe pluri-disciplinaire formée de spécialistes.

En outre, le diagnostic repose sur l'exploitation des informations très précieuses fournies par le système de surveillance et sur l'existence d'un dossier d'ouvrage. Malheureusement ces deux composantes sont inexistantes au Maroc, ou si elles existent, elles sont réduites à leur simple expression. Ces informations sont soit inutilisables soit insignifiantes.

Ce problème est compliqué par la spécificité de l'histoire de la construction des ouvrages d'art.

E - Dégénéralisations

Dès la réception, l'ouvrage rentre dans la 2ème phase qu'on peut caractériser de sa vie "active" ou "en état de service" et comme toute structure créée par l'homme, l'ouvrage commence à se déformer et à se dégrader : Deux phénomènes avec lesquels le gestionnaire des ouvrages appelle à compter :

*Des déformations différées en cours, étaient déjà prévues à la phase de l'étude et avaient déjà commencé à paraître pendant la construction. Elles continueront à se développer vers des valeurs asymptotiques.

Quant à la dégradation des matériaux, elle est dans une certaine mesure inévitable mais aussi prévisible et évaluable.

Ceci dans le cas où tous les effets sont correctement pris en considération, chose qu'on ne peut pas affirmer vu l'état de la connaissance actuelle et les évolutions prévisibles.

1-Fondations :

L'importance des désordres de fondations réside en premier lieu dans le constat des catastrophes d'un Pont, en effet la plupart des ouvrages rompus et totalement détruits, l'ont été à la suite d'un défaut de fondation, celles-ci sont dues soit aux affouillements soit à l'activité des crues.

Ensuite les fondations ont la particularité d'être la partie cachée de l'ouvrage. Le contrôle correct de leur réalisation est difficile à faire, elle sont donc assujetties à des imperfections ou des accidents de chantiers, tel est le cas de rupture de protection du caisson du Pont Loukkos, et la mauvaise exécution d'un pieu de Bou Regreg.

Plusieurs phénomènes peuvent donc concourir pour avoir des fondations mal fondées.

2 - Pont et structure de pont en b.a.:

Il est presque impossible de donner ici les différents aspects et manifestations des maladies des structures en béton armé.

Cependant, on examine ci-après les principaux désordres. Dans la réalité, le béton résiste bien à la compression c'est sa principale vertu même. Mais ne résiste pas ou peu à la traction. C'est cet aspect qui a conduit à lui adjoindre une armature passive ou active pour reprendre la traction ou l'éliminer, cette dernière exigence est la justification même du béton.

Ainsi donc, le matériau béton armé lorsqu'il est tendu se fissure. La fissuration est donc une maladie structurelle du béton armé. Cependant, il faut distinguer les fissures admissibles, non préjudiciables et celles qui le sont.

La deuxième caractéristique du béton est qu'il est un matériau poreux ou peu compact, ce qui se traduit par une circulation d'eau à travers les vaisseaux et les venes intérieures, une partie de l'eau reste piégée dans les poches capillaires .

Cette eau d'abord entraîne la lessivité des matériaux se traduisant par différents coloris de surface ou des stalactites.

Ensuite l'eau attaque l'alcalimite du béton entraînant un effet de pile et provoquant tôt ou tard la corrosion des aciers.

3 - Le béton précontraint

La technique du béton précontraint exige la précision dans la conception, la qualité dans la construction et une maîtrise de la technologie aussi bien par le projeteur que le réalisateur.

En fait, l'expérience capitalisée à l'échelle mondiale montre que les causes des désordres, en toute logique, peuvent être classées en trois grandes familles :

- *La qualité intrinsèque des matériaux

- Béton
- Acier
- Câble

- *Les hypothèses mal ou non prises en compte lors du calcul

- Les pertes de précontraintes

- La redistribution des efforts sous l'effet des déformations différées (appelés souvent improprement adaptation par fluage).

- *Défaut d'exécution

- Tracé du câble mal calé

- Injection des câbles

- Etat de surface du hourdis supérieur.

Il y a lieu cependant de se rappeler que le plus souvent les tabliers ne sont précontraints que longitudinalement (absence théorique de traction vis-à-vis de la flexion). Transversalement leur résistance est alors assurée par des armatures passives de béton armé. Une fissuration limitée à des ouvertures en surface de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm est tout à fait normale et ne peut être considérée comme préjudiciable à l'ouvrage si le recouvrement des armatures est suffisant, si le béton de bonne qualité et s'il n'y a pas de circulation d'eau saumâtre.

Un examen attentif est donc nécessaire pour séparer les fissures traduisant un fonctionnement anormal des fissures classiques de béton armé.

4 - Les ouvrages en maçonnerie:

***Désordres dans le couronnement:**

Le couronnement se compose d'une assise de pierre ou de béton coulé en place (plinthe) reposant sur le tympan et portant le parapet plein en pierre. La balustrade en béton armé ou le garde-corps métallique.

Les ponts en maçonnerie ont, en règle générale, une largeur utile faible, le plus fréquemment 5 à 6 mètres. Lorsque deux véhicules lourds se croisent sur ces ouvrages, il est malheureusement fréquent que l'un d'eux rabote ou heurte le parapet. Dans le cas où le pont est équipé d'un parapet en pierre dont la résistance et au cisaillement des joints entre pierres est limitée, les chocs entraînent des déplacements de pierres et parfois même la chute en contrebas d'un tronçon entier du parapet.

***Défaut d'étanchéité :**

Ils sont à l'origine de la plupart des désordres constatés sur les ouvrages en maçonnerie. Les ponts anciens n'ont aucune protection contre l'infiltration des eaux, ils ne sont généralement pas pourvus de gargouilles, l'évacuation des eaux se fait par les fûts des piles. Les voûtes des ponts, moins anciens sont revêtues de chapes réalisées à base de chaux ou de ciment d'une épaisseur de 5 à 10 centimètres. La présence de gargouilles ou de drains est rare.

Les ponts en maçonnerie, à part certains anciens portent la plupart du temps une chaussée sans divers et dont le profil en long est horizontal. Par ailleurs, les trottoirs s'ils existent sont souvent constitués de terre ou de pays mal jointoyés favorisant le développement de la végétation les fils d'eau sont boueux, la chaussée est mal entretenue et présente des trous, des plissements dus au fluage etc..... Pour toutes ces raisons, les eaux de ruissellement s'accumulent sur les ponts, accumulation favorisée par l'entretien insuffisant des fossés d'écoulement aux abords.

***Disjoints:**

Ces défauts peuvent être constatés sur toutes les parties des ouvrages en maçonnerie (murs des culées, fûts des piles, donnelles, bandeaux, tympans etc....) leurs causes sont multiples, souvent combinées et pouvant varier selon les parties considérées. On distingue essentiellement deux familles de causes:

-Les causes d'origine physique :

Variation de température, chaleur, gel, érosion par cheminement de l'eau de l'intérieur des appuis (piles et culées vers l'extérieur et vice versa dans le cas de rivières présentant des variations rapides de régime, un marnage important; Abrasion

due aux projections sur des parements immergés de particules solides en suspension dans l'eau des cours d'eau à régime rapide, torrentiel; Actions mécaniques des racines des plantes et arbustes qui parviennent à se développer dans certains joints dégradés.

- les causes d'origine chimique

Dissolution du liant par les eaux d'infiltration provenant du remblai d'accès dans le cas des murs des culées, de la chaussée et des trottoirs par cheminement à travers le blocage dans le cas des douelles, des tympans et des piles. Action due à l'agressivité de l'eau de pluie frappant les joints et progressant dans les capillaires ou les lacunes des joints. Actions de l'eau de la rivière franchie sur les parties immergées.

Altérations et Dégradations des Parements :

L'altération des pierres est dans la majeure partie des cas causée par des phénomènes naturels dus à l'action mécanique et chimique des eaux d'infiltration, de pluie, de la rivière franchie, de l'eau qui remonte du sol.

Parmi les altérations les plus fréquentes, il faut noter celles dues à la gélivité des pierres. Durant l'hiver, si une trop grande quantité d'eau (de pluie ou d'infiltration) remplit les pores des pierres, celles-ci, lorsque l'eau se transforme en glace, peuvent se fondre, se déliter, ou s'effriter. Les roches poreuses (calcaires, craie) stratifiées ou fissiles (génis, micaschistes) sont particulièrement sensibles au gel. Sous les voûtes, constituées de pierres gélives, là où se condense l'humidité, on observe souvent des lacunes importantes de pierres.

Certaines altérations peuvent être dues à l'agressivité de l'environnement (fumées des cheminées d'usines...) l'eau de pluie provoque la formation d'une croûte de sulfate de calcium à la surface des pierres exposées à l'atmosphère urbaine qui est chargée en anhydride sulfureux.

Par ailleurs, certaines altérations peuvent avoir d'autres origines, maladies de la pierre dues à certaines bactéries.

Enfin, il convient de rappeler les altérations dues à l'humidité (moisissures, mousses, végétations...); à la décomposition du liant des joints (concrétions calcaires, stalactites et bavettes de calcite).

II - MOYENS DE RECONNAISSANCE

A - Visite de l'ouvrage

La visite détaillée de l'état de l'ouvrage s'effectue essentiellement de manière visuelle; quelques appareils de mesures peuvent faciliter le travail. L'inspection visuelle constitue une

phase indispensable de toute auscultation d'ouvrage. Elle permet d'appréhender simultanément de nombreux paramètres. Elle ne doit pas se limiter uniquement aux parties d'ouvrages visibles de la chaussée. Elle doit s'étendre à la totalité de l'ouvrage et cela pose le problème majeur de l'accessibilité. Ce point nous mène au moyen d'accès.

B - Moyen d'accès

Le plus grand nombre d'ouvrage n'est accessible qu'à l'aide d'échaffaudage onéreux. Le résultat étant bien entendu, qu'on ne fait rien du tout et qu'un certain nombre de désordres restent inaperçus pendant plusieurs années. Il y a sur ce point, dans notre pays une absence de matériel adapté. En fait il existe sur le marché toute une série d'engins destinés à la visite d'ouvrage. Très généralement ces appareils sont constitués d'un camion supportant un contre-poids et un dispositif de bras articulés se terminant soit par une nacelle soit par une passerelle de travail. Un jeu de jambes de force permet d'assurer la stabilité de l'ensemble au cours des manœuvres.

C - Le matériel d'auscultation

Après l'accès à l'ouvrage, on effectue les constatations visuelles nécessaires, convenablement interprétées et consignées (ce qui n'est pas toujours très aisé. L'établissement, par exemple, d'un plan de fissuration étant un travail long et fastidieux). Il peut être nécessaire d'effectuer des essais complémentaires. Le but recherché étant:

- * Soit d'étudier le fonctionnement de la structure à un instant donnée.

- * Soit d'apprécier la qualité des matériaux constitutifs.

- * Soit de suivre l'évolution de la structure.

Bien entendu, ces trois types de préoccupations peuvent coexister à propos d'un même ouvrage. Ce matériel d'auscultation sera introduit dans ce qui suit selon le but recherché.

1- Fonctionnement de la structure à un instant donné :

On cherche à la reconnaître soit dans le but de vérification lors des épreuves de l'ouvrage ou après réparation, soit pour établir un diagnostic lorsqu'on soupçonne que le fonctionnement réel n'est pas conforme aux hypothèses de calcul (zone de concentration de contraintes anormale, modification de conditions d'encastrement, effet de réparation d'un platelage, modification des réactions d'appui due à des effets différés, relaxation de la précontrainte, etc....)

On distingue deux cas très différents suivant que les informations données par des variations de déplacement ou de déformation sous l'action de surcharges convenablement choisies sont suffisantes, ou qu'au contraire on désire conserver l'ouvrage.

Un exemple du premier type serait l'étude du fonctionnement d'une entreprise; un exemple du deuxième type était l'état de contrainte régnant dans un pont en béton précontraint après fluage et relaxation.

Dans le premier cas, les essais essentiels consisteront à mesurer des flèches et déformations instantanées et éventuellement, des ouvertures de fissures.

Les flèches peuvent être mesurées de différentes manières :

* Nivellement topographique

* Fléximètre nécessitant la présence d'un point d'ancrage fixe, ce qui n'est pas toujours possible d'obtenir (brèche profonde, rivière à courant violent).

Les déformations instantanées sont en général mesurées à l'aide de jauges de déformation à fil résistant. La précision est alors de l'ordre de quelques 10⁻⁶ (bien entendu, on ne doit pas utiliser de telles jauges sur des parties en béton armé tendu, il faudrait alors, si les mesures s'avéraient, les placer sur les armatures préalablement dégagées).

Les mesures d'ouverture de fissure peuvent s'effectuer à l'aide de divers types d'extensomètres, soit mécaniques lorsqu'il s'agit d'essais statiques, soit élastiques lorsqu'il s'agit d'essais rapides (dynamique).

A noter les moyens de chargement présentent parfois des difficultés, lors de la réalisation de ces essais, notamment lorsque l'ouvrage est dans un état inquiétant. La méthode consiste alors à charger progressivement l'ouvrage.

Dans le cas où l'on souhaite connaître l'état à vide, les mesures sont plus délicates à effectuer. Il a été mis au point deux méthodes d'investigation qui semblent prometteuses: mesure des réactions d'appuis et mesure des contraintes par libération :

-La mesure des réactions d'appuis est utile sur des ouvrages hyperstatiques dont le schéma de fonctionnement a pu se modifier au cours du temps à cause notamment, des phénomènes de fluage et de, relaxation, mais aussi, éventuellement, du fait des mouvements des appuis. Le procédé de mesures consiste à interposer entre appui et tablier des vérins hydrauliques convenablement étalonnés, ainsi que des capteurs électriques de déplacement relatif. En introduisant la pression dans les vérins par paliers et en relevant pour chaque palier le déplacement mesuré entre l'appui et le tablier, on peut tracer la courbe effort-déplacement.

Celle-ci se compose de deux segments de droite. Le premier correspond à la mise en place du système en prenant en compte notamment, la raideur des appareils d'appuis, la pente du second segment traduisant la raideur au déplacement vertical au tablier proprement dit.

En prolongeant ce segment de droite jusqu'à l'axe des efforts, on obtient, alors, la réaction verticale des appuis sur le tablier en l'absence de tout déplacement.

- La méthode de mesure des contraintes par libération est couramment utilisée en mécanique des roches, mais n'a été appliquée aux tabliers d'ouvrages que très récemment. Plusieurs réalisations technologiques sont possibles, se fondant toujours sur l'un des principes suivants : mesure de la déformation d'une partie d'ouvrage entre un instant 0 où cette partie est solidaire de l'ouvrage et un instant où elle en est désolidarisé par carottage par exemple, on mesure des efforts à exercer pour annuler les déformations d'une partie d'ouvrage provoquée par désolidarisation de l'ouvrage. La méthode la plus couramment utilisée est la méthode dite par verins plats mis au point par le Laboratoire de Génie-Civil de Lisbonne. Après avoir estimé une des directions principales des contraintes. On place à la surface des repères d'extensométries) des deux côtés d'une ligne frontière perpendiculaire à cette direction principale. On mesure la distance entre ces repères puis, à l'aide d'une scie diamantée, on pratique une saignée le long de la ligne frontière, ce qui provoque un déplacement relatif des repères. On déduit de la pression mesurée la contrainte moyenne dans la structure perpendiculaire au vérin sur la hauteur intéressée. A noter qu'en approfondissant la saignée et en utilisant un jeu de vérins appropriés, il est possible d'apprécier (qualitativement pour l'instant) l'évolution de la contrainte avec la profondeur.

2 - Qualité des matériaux constitutifs:

En outre, les prélèvements et les essais en laboratoire qu'il convient de ne pas oublier, d'assez nombreuses méthodes existent pour apprécier l'état du matériau: Dans le cas du béton armé et du béton précontraint, on citera particulièrement les méthodes d'auscultation dynamique et d'auscultation gammagraphique.

-Le principe bien connu de l'auscultation dynamique consiste à mesurer la vitesse de propagation d'ébranlements à la surface des matériaux et à en déduire des appréciations des valeurs des paramètres caractéristiques de ces matériaux. En fait, les paramètres que l'on peut apprécier plus au moins directement sont le module d'élasticité du matériau et éventuellement sa variation en fonction de la profondeur, ainsi que des caractéristiques géométriques telles que profondeur des fissures, épaisseur d'une paroi, etc; Les résultats sont souvent exprimés en résistance à la compression du béton à partir d'une corrélation résistance à la compression-vitesse du son. Il faut garder à l'esprit que pour des bétons durcis (âge supérieur à 28 jours), cette corrélation est, en général, très lâche et que les valeurs ainsi obtenues doivent être considérées en fait comme des indicateurs qualitatifs permettant éventuellement de mettre en évidence des zones homogènes.

-L'auscultation gammagraphique (ou par rayon x) repose sur le principe de l'atténuation sélective des photos par la matière. L'irradiation d'un film photographique à travers la paroi à ausculter permet d'obtenir un cliché des zones de densité

différente à l'intérieur de la dite paroi. On pourra mettre ainsi en évidence des défauts tels que : hétérogénéités et présence de vides dans le béton, présence de corps étrangers dans le béton, fissures, défauts d'injection des gaines de précontrainte, rupture de fil, corrosion, défaut de positionnement des armatures, etc...

En matière d'ouvrages métalliques, les auscultations portent essentiellement sur l'état de corrosion interne des câbles de ponts suspendus et sur l'état des soudures:

Les contrôles des câbles de ponts suspendus se font par des méthodes électromagnétiques. Une première méthode, dont le principe consiste à mesurer l'impédance d'une bobine dont le câble et le noyau en exploitant les phénomènes propres aux courants de foucault, permet d'apprécier le taux d'oxydation d'un câble, c'est à dire la proportion pondérale des oxydes par rapport aux poids du tronçon, la relation entre la self de la bobine et ce taux d'oxydation étant obtenue par étalonnage en laboratoire.

Le matériel est constitué de bobines dont le diamètre est variable de 10 mm en 10mm en fonction du câble à ausculter. Les bobines comprennent 96 prises et s'ouvrent en deux demi-coquilles munies de connecteurs sur toute la longueur, ce qui permet un montage et un démontage aisé.

Dans tous les cas même si on ne dispose pas des courbes d'étalonnage appropriées, la méthode permet de localiser les parties de câbles les plus oxydées mais elle ne permet pas de déceler d'autres désordres tels que zone d'oxydation localisée ou ruptures de fils dues à la corrosion sous tension.

III- CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT

A - aspects climatiques-géographiques et sismiques

Plusieurs études ont été réalisées récemment au Maroc concernant les facteurs climatiques et sismiques au Maroc. En particulier citons la réalisation de la répartition des vents forts au Maroc pour le calcul des structures (réalisée par la Direction des Equipements Publics).

(MEPFFC), la réalisation de la carte sismique (par le Ministère de l'Habitat), une étude d'ensoleillement (gisements solaires au Maroc par Mme. BAHRAOUI de l'université Mohamed V), une carte de distribution des vents moyens (pour l'étude bioclimatique et énergies éoliennes par le L.P.E.E.), et une carte des précipitations (pour l'étude de leur agressivité vis-à-vis des chaussées par le CNER, MEPFFC). D'autres études sont actuellement en cours telle l'étude des régimes des crues etc... Toutes ces études nous ont permis de mieux connaître notre territoire.

Notons pour illustration que l'Atlantique Marocain est caractérisé par une forte houle. Celle-ci explose littéralement contre les falaises semant

l'air d'infinité de germes salins, le vent prédominant de mer, porte ceux-ci à l'intérieur des terres ; lors des essais d'exposition et de captation réalisés par le L.P.E.E., il a été noté des dépôts très sensibles de chlorure jusqu'à 30km de la côte (au niveau de Casablanca). A titre d'exemple, on peut dire que le taux de corrosion à Casablanca et Safi est comparable à celui observé dans les atmosphères les plus corrosives du monde.

Le faible boisement des montagnes marocaines et le caractère orageux de la plupart des précipitations font que bon nombre d'Oued secs la plupart de l'année, connaissent des crues subites souvent dévastatrices.

On rencontre dans la géographie marocaine, de nombreux "Oued Mellah" qui veut dire Oued salé. Certains oueds du versant du Rif et d'autres régions apparaissent blancs à l'étiage à cause de la cristallisation des sels qu'ils portent. Ceci a pour conséquence l'attaque des matériaux par les acides.

1 - les crues et érosions :

De nombreux ouvrages marocains, sont soumis à de violentes crues. Outre le risque d'être emportés, les ouvrages se situant dans le chemin de l'Oued et particulièrement les piles et les culées des ponts, sont soumises à une forte érosion qui dégarnit les joints de maçonnerie et use considérablement le gros béton, en général mal soigné et peu compact, (des massifs de fondations ou des pieux coulés), à cette action mécanique se joint l'action lessivante de ces eaux de crue, chimiquement très pures sur ces bétons souvent cavernaux.

2 - l'eau des pluies :

La pluie entraîne les sels contenus dans l'atmosphère sous forme d'embruns salins et imprègne le béton qui est un matériau hydrophile et plus ou moins poreux de par sa calcification nulle, elle lessive la chaux du béton et aide sa neutralisation. Une fois que cette neutralisation atteint le niveau des armatures, la passivation alcaline de celle-ci, qui coupait le circuit électrique de la pile de corrosion, disparaît ; toutes les conditions sont alors réunies et la corrosion, va se développer plus ou moins vite selon les possibilités de renouvellement de l'air au niveau des armatures (porosité) et la concentration en sels de l'eau d'imprégnation. Nombreux sont les O.A. dont le foyer de corrosion était essentiellement situé sur les points de ruissellement d'eau de pluies (zones de percolation à travers le tablier, bec de drainage des eaux de chaussées trop courts déversant sur les talons des poutres ; joints entre travées ou travées-culées non étanches). Ce défaut de conception peut être réparé facilement sauf s'il s'agit de percolation qui découle d'un défaut d'étanchement.

3 - échauffement (et dessiccation) :

On observe à l'intérieur du Maroc de fortes alternances thermiques par des journées ensoleillées, induisant un gradient thermique élevé notamment dans les ponts précontraints.

Il a été mesuré sur un pont de béton précontraint de 100 m de portée plus de 50 degrés (au TADLA). Ces alternances peuvent conduire à des désagréments : rupture en compression des abouts

des travées séparées par un joint d'ouverture insuffisante, piles en maçonnerie fondées en deux par le non fonctionnement des appareils d'appui, fissuration des murs de front des culées par la déformation thermique de la travée reposant sur les appuis inélastiques de type ancien (mince plaque de plomb au tôle d'acier). Autres conséquences moins spectaculaires, tel le retrait et dessiccation des surfaces horizontales de bétons, plus particulièrement les dalles en béton armé.

4 - arbres et plantes :

Les arbres et les plantes ont quelques importances sur la détérioration des ouvrages s'ils poussent sur ou près des ponts. En général, ils sont inoffensifs mais quelquefois leurs racines peuvent accentuer la détérioration de la maçonnerie par exemple. Les plantes se trouvant sur les ponts indiquent plutôt un faible entretien et sont le résultat, plutôt que la cause, de la détérioration. Les arbres et plantes induisent également des effets chimiques.

IV- CONDITIONS D'EXPLOITATION DES O.A.

A - Introduction :

Les ponts ne sont pas des structures éternelles, ni des structures conçues pour supporter tous les types de charges possibles, leur sécurité dépend :

- *de l'évolution des charges de leur fréquence
- *de l'altération de la structure elle-même
- *des conditions d'environnement

Ainsi les gestionnaires des ouvrages ont depuis longtemps cherché à mieux connaître le domaine d'utilisation de leurs ouvrages d'une part pour une raison simple liée à l'accroissement au trafic, mais aussi afin de rendre plus réalistes les limitations de charges mises en place et offrir la sécurité nécessaire à l'utilisation d'un ouvrage.

Au Maroc, un nombre important d'ouvrages en services, ont été construits avant l'apparition du règlement des surcharges ; actuellement en vigueur à savoir le titre II du Fascicule 61, intitulé "conception, calcul et épreuve des ouvrages d'Art, et les règlements des structures en B.A. et B.P." pour ne parler que de ces deux matériaux qui sont les plus utilisés chez nous.

Ces ouvrages anciens posent des problèmes de portance, la recherche de celle-ci intervient le plus souvent à la suite d'une observation "curieuse" sur le comportement de la structure, ou après découverte de dégradations plus ou moins importantes sur certains éléments ou encore à la suite d'une demande d'autorisation de passage d'un convoi exceptionnel.

Devant une telle situation, l'ingénieur responsable du dossier doit se poser plusieurs questions, parmi celles-ci trois questions importantes :

*Quelle est la force portante d'un ouvrage ancien ? Comment peut-on l'évaluer ?

*Comment fixer une limitation de tonnage ?

*Comment augmenter la portance d'un ouvrage pour le passage d'un convoi exceptionnel ? ou encore pour qu'il supporte des surcharges du règlement actuel

Il n'existe actuellement aucune réponse officielle à ces questions, les règlements en vigueur ont été conçus pour le calcul des ouvrages neufs, ils ne sont pas directement applicables aux matériaux anciens et ne prévoient pas la prise en compte des surcharges correspondants à une limitation de tonnage.

En fait, l'évaluation de la force portante, l'état de la structure dépendent de nombreux paramètres (type d'ouvrage, nature du matériaux, état de conservation...) qui ne pourront jamais être appréhendés par un règlement si bien soit-il.

Dans ce qui suit, nous décrivons les principaux facteurs à prendre en compte pour cela nous proposons une approche d'une méthodologie à suivre pour la détermination de la portance d'un ouvrage, il y a lieu de noter que l'intérêt sera porté sur la superstructure sans toucher le problème des fondations qui reste un domaine très compliqué et aléatoire et demande à lui seul une étude plus détaillée.

B - premières investigations

Le premier problème qui se pose est la recherche ainsi que l'analyse du dossier de l'ouvrage. Cette tâche est la clé de l'étude, il est généralement très difficile d'aboutir à un résultat final optimal sans avoir consulté le dossier de l'ouvrage.

1. Examen du dossier de l'ouvrage lorsqu'il existe:

Cet examen à pour objectif de rassembler à partir des archives (plans de l'ouvrage, note de calcul, journal de chantier, rapport du laboratoire et éventuels essais de chargement...) tous les éléments relatifs à la conception, au calcul et à la nature des matériaux utilisés, lesquels éléments peuvent permettre de déterminer la date de construction du pont, d'expliquer les désordres constatés et la charge pour laquelle l'ouvrage a été calculé.

Il est à noter qu'il est nécessaire de s'assurer qu'il s'agit bien de documents conformes à l'exécution.

2. Lorsque le dossier de l'ouvrage n'existe pas:

Dans le cas le plus fréquent, malheureusement, où le dossier de l'ouvrage n'existe pas ; il y a lieu de rechercher des témoins oculaires, de fouiller les archives des journaux, de s'adresser aux autres départements.. de façon à obtenir le maximum d'informations, en particulier sur la date de construction, renseignements précieux (lorsqu'on a celui-ci) permettant de savoir quels règlements ont été appliqués, dans le cas où l'ouvrage a été calculé suivant le règlement de l'époque.

C - études de la portance de l'ouvrage

La recherche des archives ayant permis de recueillir le maximum d'informations concernant l'ouvrage, une visite de l'ouvrage est indispensable pour confronter les plans des archives avec la géométrie de l'ouvrage et de noter toutes les anomalies constatées, un relevé de la géométrie de l'ouvrage est indispensable.

1- le dossier de l'ouvrage existe :

Dans le cas où le dossier de l'ouvrage existe, celui-ci doit être entièrement recalculé sous les charges routières en vigueur ceci permet de :

*Comprendre les mécanismes ayant provoqué les désordres s'il y en a.

*Apprécier le niveau de sécurité qu'il présente.

*Déterminer éventuellement la limitation de charge à prendre.

Cette opération est menée conjointement avec les autres opérations faisant partie de l'évaluation de l'état de l'ouvrage, en particulier ces premiers calculs permettent d'orienter les investigations complémentaires à effectuer sur celui-ci.

2. Le dossier de l'ouvrage n'existe pas :

Dans le cas contraire où le dossier de l'ouvrage n'existe pas et, où la date de construction de l'ouvrage a été retrouvée, ou estimée celle-ci permet de connaître les règlements qui avaient été utilisés et autorise donc la comparaison entre les sollicitations de calcul de l'époque et celles développées par les charges actuelles : il est donc nécessaire de faire un premier calcul suivant le règlement de la date de construction, ce calcul permet à l'ingénieur de se faire idée sur les caractéristiques des matériaux, sur la conception et sur la méthode de calcul qui offre la sécurité nécessaire.

Un deuxième calcul identique à celui lorsque le dossier de l'ouvrage existe suivra.

-Portance Réelle des O.A. :

Si la phase précédente a permis de définir le problème et d'orienter les investigations complémentaires à effectuer sur un ouvrage, elle n'a pas permis de fixer la limitation de tonnage "optimal" car ces premiers calculs ont été effectués sur une structure saine qui n'a pas vieilli, il faut donc maintenant introduire l'état de l'ouvrage (état physique et géométrique) une question se pose, quels règlements appliquer ?

a - Quels règlements appliquer ?

Cette tâche est souvent difficile, la lecture des anciens règlements laisse, à priori, une impression de désuétude, ils ont cependant permis de réaliser, des ouvrages importants, qui sont toujours en service. En fait, les règlements de surcharges et de calculs, les matériaux, les techniques de construction constituent un ensemble homogène et il est dangereux de s'intéresser à l'un d'eux sans prendre les autres en considération. En particulier, il est dangereux de s'intéresser aux contraintes admissible sans tenir compte de la dispersion des matériaux. Il est très difficile d'arriver à un résultat correct lorsqu'on recalcule un ouvrage ancien considéré comme "neuf" suivant le dernier règlement en vigueur.

b - Proposition d'une approche :

L'approche la plus juste consiste à appliquer le règlement actuel sous réserve de :

*Tenir compte de l'état de l'ouvrage, par une visite complète de celui-ci de manière à effectuer des relevés précis des côtes de l'ouvrage et à déterminer d'une façon précise la morphologie des dégradations et des désordres existants et leur situation exacte par rapport aux divers éléments porteurs. En dehors des dégradations, il faudra noter aussi tous défauts de fonctionnement (appareils d'appuis bloqués, dilatations empêchées, articulation fonctionnant mal etc...) qui créent des efforts parasites dont il faut évaluer l'intensité.

Cette visite permet entre autre de définir les défauts de conception qui conduisent à un vieillissement rapide de la structure.

*D'estimer d'une façon réaliste que possible, les valeurs caractéristiques des matériaux. C'est la partie la plus délicate.

Pour le béton (par exemple), il n'existe pas de méthode non destructive qui permet d'évaluer la résistance de celui-ci, la seule méthode possible est la suivante, elle consiste à :

- Réaliser quelques carottages
- Faire des mesures soniques sur ces carottes
- Faire des essais mécaniques :écrasement et essai Brésilien
- Tester l'homogénéité et la qualité du béton par mesures soniques.

On pourra admettre que la résistance caractéristique du béton à prendre en compte pour le calcul de R_c 28 peut être estimée à 0,75 fois la moyenne des essais.

En ce qui concerne l'acier, on peut suivant la date de construction de l'ouvrage déterminer le type d'acier utilisé à l'époque de la construction de l'ouvrage déterminer le type d'acier utilisé à l'époque de la construction du pont, tout en procédant à des essais sur les carottes prélevées.

*De prendre le calcul de la structure suivant les méthodes de calcul modernes en tenant compte, le mieux possible de son comportement mécanique réel, de l'état des contraintes en place, des sollicitations réelles appliquées à l'ouvrage (effet de variation de température...)

Il ya lieu de remarquer que la tenue des ouvrages anciens sous le trafic moderne s'explique par trois raisons essentielles:

-Les surcharges générales A(1) du règlement ancien sont voisines et parfois supérieures à celle du règlement actuel.

-Le calcul était effectué avec des méthodes très simplifiées et souvent pessimistes.

-Il peut exister des états d'équilibre secondaires (ex : participation d'une dalle de couverture à la résistance d'un longeron.)

V- DESCRIPTION DES REGLEMENTS ET DE LEUR EVOLUTION

La détermination de la force portante d'un ouvrage, de l'explication de certains désordres affectant les ouvrages anciens passe par le recalcul de la structure de celui-ci suivant le règlement en vigueur à la date de sa réalisation, ainsi que suivant le règlement actuel, ceci à une description des règlements et leur évolution.

Au Maroc, les ouvrages anciens, réalisés en majorité pendant le protectorat Français et Espagnol, ont sans doute été calculés suivant les règlements en vigueur dans ces pays.

Le règlement Espagnol ne sera pas décrit, par manque de renseignement le concernant, celui-ci ne doit pas différencier de beaucoup du règlement Français qui sera décrit dans la suite.

Le premier règlement de surcharges connu en France remonte à 1852, mais il serait illusoire de croire que tous les ouvrages postérieurs à 1852 ont été calculés avec le règlement en vigueur à cette date.

Les règlements de surcharges n'ont commencé à être appliqués de façon générale qu'après la première guerre mondiale.

L'examen des règlements successifs permet cependant, en les comparant au règlement actuel, de se faire une idée sur les possibilités de résistance d'un ouvrage.

1 -Surcharges de type A(1) : les surcharges générales, équivalentes aux surcharges de type A(1) actuel, étaient dans l'ensemble très pessimistes pour les grandes portées.

2- Surcharges de type B : les surcharges de type B étaient dans l'ensemble représentatives des véhicules circulant réellement sur les routes.

Suivant la comparaison des règlements on peut dire que dans les ouvrages anciens, les éléments porteurs principaux étaient surdimensionnés et peuvent supporter les surcharges actuelles, par contre les pièces secondaires (dimensionnées en général pour les surcharges locales) sont sous-dimensionnées par rapport aux surcharges actuelles.

Il y a lieu de noter que si un grand nombre d'ouvrages anciens supportent sans dommage la circulation actuelle ceci peut être expliqué par deux constatations :

*Ce n'est pas parce qu'un ouvrage tient qu'il présente une sécurité suffisante.

*Les ouvrages anciens ont été calculés avec des méthodes simplifiées souvent pessimistes, ne représentant pas le fonctionnement réel de la structure.

VI - EXPLICATION DES ORIGINES DE DEGRADATION

A - Structure en béton

Tout d'abord, il est utile de rappeler que le béton est un matériau, constitué de granulats naturels, assemblés par un ciment. Sa qualité principale est sa haute résistance à la compression, mais il a une cohésion relativement basse (de 20 à 30 kg/cm²) et est poreux.

Lorsqu'il est sollicité par une traction ou un cisaillement excessif, il y a apparition de fissures.

Cette action mécanique est à l'origine de la fissuration non admissible qui est elle même la cause des maladies dangereuses du béton.

Dans le cas général, les causes des dégradations peuvent être classées en 6 familles :

- *liées à la conception
- *liées à l'exécution
- *liées aux conditions d'exploitation
- *liées à la fatigue et au vieillissement
- *Crues et affouillements
- *liées à des actions abusives et autres.

1 La conception :

Les désordres dus à la conception sont multiples, leurs frontières avec les défauts d'exécution sont souvent difficiles à délimiter.

Toutefois, on peut dégager quatre types différents. Le 1er type consiste à un mauvais dimensionnement de fondations ou à choisir un type de fondations non adaptées aux caractéristiques du sol de fondation.

En d'autres termes, lorsqu'il y a un mauvais choix du parti ; celui-ci peut être dû à une méconnaissance géotechnique du substratum.

L'inexactitude des hypothèses de calcul, constitue le 2ème aspect. Il peut être soit des hypothèses optimistes sur des actions et combinaison d'action ou une surestimation des caractéristiques des matériaux.

Ensuite l'inadaptation du modèle théorique de calcul pour :

- *La détermination des sollicitations et leur combinaison
- *L'étude de la stabilité générale et locale
- *La prise en compte des phénomènes différés
- *La prise en compte du gradient thermique.

En effet, le béton et l'acier se dilatent de la même façon avec la température, c'est du reste cette propriété qui permet de les associer pour faire le béton armé, la dilatation se calcule par la formule :

$$\Delta L = L \times t^{\circ} \times 11/100.000$$

ΔL = variation de la longueur de l'élément du béton

L = longueur de l'élément

t° = différence de température.

Pour une variation de t° de $30^{\circ}(10^{\circ} - 40^{\circ})$ une poutre de 20m de longueur varie de 9mm.

Enfin le 4ème type se rapporte aux erreurs de conception ou aux fautes de calcul, dans cette catégorie, il y a lieu de citer les erreurs dues à la disposition constructive mal adaptée, et aux erreurs dans le dimensionnement ou tout simplement le non respect des règles de l'Art.

2-L'exécution :

Les erreurs d'exécution sont généralement dues à deux éléments :

*L'insuffisance des documents d'exécution

*La déficience du contrôle de qualité.

3 - Les causes liées aux conditions d'exploitation:

Le relachement de la surveillance ou l'absence d'une politique rationnelle de la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art expliquent l'essentiel des dégradations liées à cette famille.

Le 2ème volet constitué par l'agressivité du trafic (en particulier les poids lourds) sous ses deux manifestations l'intensité et la fréquence de passage de convois exceptionnels

4 - Le vieillissement et la fatigue de l'ouvrage

Toute matière créée par l'homme commence à vieillir et à se fatiguer dès sa mise en service.
Ces phénomènes sont intimement liés : ils sont dus à l'apparition du 1er défaut qui est généré par la répétition des passages de trafic lourd surtout.

Une autre cause de taille est celle de l'action chimique.
En fait, le PH des ciments portland, du fait de la présence de la chaux libre, franchement basic (PH de 12 à 13), il se forme à la surface des aciers un ferrite de chaux (Fe_2O_3CaO) qui assure leur passivation. compte tenu de la porosité du béton, L'eau liquide pénètre par l'une des faces de l'ouvrage ; elle migre par capillarité, en direction d'une face libre où l'évaporation ne

peut se faire. La circulation capillaire se produit de la même façon dans les fissures fines.

Cette eau répartie dans la masse du béton peut entraîner les mécanismes de dégradation suivants :

- * Carbonatation
- * Formation de sel expansif
- * Dilitage (par les eaux de pluie ou les eaux acides)
- * L'oxydation des armatures (éclatements).

5- Actions abusives :

*Dépassement des charges autorisées (poids lourds) en surcharge

- *Actions abusives des engins de chantier.

6- Crues et affouillement :

Ce sont deux phénomènes différents qui coexistent toujours dans la ruine d'un ouvrage. Les statistiques des catastrophes des ponts montrent qu'elles sont de loin les causes les plus couramment rencontrées 32% de ruines sont dues à ces phénomènes.

La méconnaissance exacte de l'affouillement et ses conséquences ne sont plus à démontrer. Pour s'en convaincre, il suffit de se rapporter aux études géotechniques, pour remarquer l'inexistence d'aucune méthode cohérente d'approche.

VII - LES TECHNIQUES DE REPARATION

A - Les qualités demandées à une bonne réparation

Elles sont nombreuses mais essentiellement liées à la durabilité de la réparation.

*La réparation doit d'abord permettre d'éliminer la cause de la dégradation chaque fois que cela s'avère possible (manque d'acier, blocage des appuis, porosité du béton, etc..)

*L'adhérence de la réparation au support doit être parfaite et au moins égale à la cohésion interne de ce support.

*La résistance mécanique des mortiers de réparation doit être égale, au minimum, à celle du support.

*La réparation doit être imperméable à l'eau (mais perméable à la vapeur pour laisser respirer le support). L'eau est le "vecteur" préférentiel par lequel les produits agressifs pénètrent dans le béton.

*Module d'élasticité et coefficient de dilation des produits de réparation doivent être de ceux du support (afin d'éviter les effets de coin ou les dilatations différentielles).

*la réparation et l'ouvrage réparé doivent être protégés en cas d'agressions caractérisées (usures, abrasion, agression chimique....)

B - Les différents produits de réparation

On peut avoir à faire aux produits à liant résine (époxy presque exclusivement) ou à liant ciment avec ajout de résines "miscibles" (polymères en émulsion aqueuse du type acrylique par exemple).

Ces mortiers, réalisés à partir de dérivés de la chimie de pétrole, sont composés d'une résine, d'un durcisseur et de sables de silices séchés au four. Leurs avantages sont les suivants :

- *Hautes résistances mécaniques (1 000 bars en compression)

- *Montée rapide en résistance (fonction de la température)

- *Fortes adhérences sur tous les milieux alcalins (ciments..)

- *Bonnes résistances chimiques (sauf agressions particulières).

Par contre, leurs inconvénients sont importants et il faut impérativement les connaître pour les erreurs parfois catastrophiques sur chantiers.

- *La "présentation en emballages prédosés" :

- augmente la sécurité sur chantiers (plus de dosage à l'estime)

- simplifie le travail

- permet une bonne exécution, même dans des zones d'accès difficile

- assure la réalisation de tous types de travaux grâce à la présentation en différents types de produits.

- assure une bonne tenue à la carbonatation donc à la corrosion, même en faible épaisseur, grâce à la compacité obtenue.

- *Les inconvénients de ces mortiers hydrauliques sont connus. Ce sont principalement:

- des montées en résistances relativement lentes

- une mauvaise tenue aux agressions chimiques caractérisées (acides notamment)

- la nécessité d'une protection contre la dessiccation pendant le temps de prises et de durcissement

*De ces énumérations (avantages liés aux ajouts et inconvénients), on en déduira leurs utilisations préférentielles :

- réparations de grandes dimensions et volumes
- scellements importants
- protection des armatures contre la corrosion en B.A.
- injection en maçonnerie (coulis améliorés latex)
- reprise de joints de maçonnerie
- réparations lorsque des chocs thermiques sont à craindre.

C - La préparation des supports

D'une bonne préparation des supports dépend généralement de la réussite ou l'échec de la réparation. Cette préparation pourra se faire :

-Par élimination en épaisseur:

Par burinage, repiquage ou bouchardage

-Par élimination superficielle :

Par sablage à sec ou par voie humide, par lavage sous eau à très haute pression, par décapage thermique, par rabotage mécanique ou par ponçage.

D-Les techniques de mise en oeuvre

Elles sont, bien sûr, très diverses et doivent être étudiées pour chaque cas particulier.

-Mise en oeuvre traditionnelle (coffrage) :

Elles sont valables pour les mortiers de résines comme pour les mortiers hydrauliques (attention protéger les coffrages contre l'adhérence des mortiers).

-Mise en oeuvre par projection :

Valable uniquement pour les mortiers hydrauliques, elle peut se faire à partir de matériels simples comme le sablon ou le projet, ou plus sophistiqués comme la super Granita de KREMLIN. Pour de fortes épaisseurs, on pourra utiliser aussi la projection par voie sèche à partir de la machine ALIVA avec mouillage en bout de lance.

-Les injections :

Les résines époxydiques à faibles viscosité s'injectent à l'aide des pots de pression (type KREMLIN) après cachetage des fissures et mise en place des cavaliers d'injection.

-Les renforcements

a- renforcement par tôle collés :

Par collage des plots extérieurs sur les joues ou le talon des poutres à renforcer, ils sont réalisés à l'aide des colles épaisses à base d'époxy.

Cette solution consiste à compenser les pertes de sections d'aciers à la suite d'une altération de ces derniers, ou au cas où l'on désire augmenter la capacité portante de l'ouvrage.

La réussite du procédé tient essentiellement à deux facteurs ; la qualité des produits utilisés et la maîtrise de l'application du procédé se situant au niveau de la résistance au cisaillement du béton. Il est donc indispensable de procéder à des essais "in-situ" pour vérifier que les caractéristiques du béton permettent ce type de réparation.

b- renforcement par précontrainte additionnelle :

Les renforcements permettent, par exemple, de compenser les pertes éventuelles dues à la relaxation des aciers retrait et fluage du béton, de restituer la portance initiale de l'ouvrage ou augmenter sa capacité portante lorsqu'on envisage des surcharges supplémentaires (convoi exceptionnels, etc). Le principe consiste à introduire des efforts externes de sens opposés à ceux engendrés par le poids du tablier et les surcharges afin de diminuer l'intensité occasionnée par ces derniers. Ces câbles sont ancrés dans des blocs d'ancrage en béton armé implantés, généralement, soit dans les âmes de poutres de part et d'autre, soit dans des entretoises d'abouts.

Particulièrement, au Maroc, il a été réalisé, des renforcements par précontrainte additionnelle, ou précontrainte tout court, dans le cas de ponts en béton armé et béton précontraint détériorés, et dans le cas de renforcement de ponts en maçonnerie par apport de précontrainte transversables. Il a été procédé dans d'autres ouvrages au renforcement de chevet par tiges dawidags.

c-renforcement de ponts en maçonnerie par structure en béton-armé :

Cette technique a été utilisée, par la construction d'un réseau de poutres transversales liées rigidement par des entretoises longitudinales, de manière à soulager les tympans souffrant des transmissions d'efforts après circulation sur trottoirs ; Cette réparation a permis également de réaliser un élargissement.

d - renforcement de fondations de ponts par adjonction par micro-pieux :

e - renforcement de tablier de pont par la méthode de dénivellation d'appui :

f - renforcement de voûte des ponts en maçonnerie et en béton armé :

Par l'adjonction d'armatures supplémentaires et béton projetés.

- Les réparations :

a- Exemple de réparation d'un passage supérieur de l'Auto-Route Casa-Rabat Passage supérieur PS 25

La pile N° 1 a été heurtée par un camion semi-remorque qui a provoqué sa rupture.

Il est nécessaire d'intervenir d'urgence pour rétablir la circulation dans le sens Casa-Rabat d'une part et d'autre part de reconstituer la pile endommagée.

L'ouvrage est un pont à poutres de 4 travées continues.

- Les différentes phases d'intervention :

* Mise en place d'un étaiment en tubes, échafaudages équipés en tête d'un platelage en profilés métalliques servant de support aux verins de lavage. Cet étaiment est placé au voisinage de la pile pour conserver au maximum le même fonctionnement des contraintes.

*Soulèvement du pont à la côte initiale + 3 cm à l'aide de 4 verins de 50 T équipés de vis sécurité placés sur l'échafaudage et 2 verins placés sur la culée côté terre.

* Calage du tablier par des profilés et bois dur.

* Démolition de la pile en totalité.

* Reconstruction de la nouvelle pile au même emplacement.

* Mise en place des appuis néoprènes (28 jours après).

* Descente du tablier à sa position initiale.

* Réglage des réactions d'appuis à l'aide des verins et du matériel de mesure du L.P.E.E. Les corrections ont été faites en ajoutant des tôles sur appuis néoprènes.

b- réparation de la pile dégagée par chemisage et par tirants d'ancrage.

c- reconstitution des câbles d'un pont à hauban.

d- réfection ou reconstitution des gabions ou perrés pour la protection des fondations des ponts.

e- reconstitution des tabliers de ponts mixtes en conservant parfois les profilés métalliques.

f- réfection des peintures des ponts métalliques.

g- réfection et réparation des systèmes d'étanchéité et de drainage.

h- réfection des gardes corps.

i- changement ou incorporation des plaques d'appui néoprène lorsqu'ils sont défectueux ou font défaut.

j- réfections des joints des maçonneries.

k- reconstitution des sections de béton.

E - La protection de la réparation

Elle est souvent nécessaire, ne serait-ce que pour son rôle esthétique. Elle peut assurer une protection légère contre les agressions atmosphériques peu caractérisées (carbonation, eaux pures...), contre les U.V. (produits du type polyuréthanes aliphatiques par exemple ou peintures à base de ciment), mais aussi contre les agressions caractérisées (sels marins, érosion...).

Dans tous les cas, elle prolongera la vie de l'ouvrage et facilitera son entretien en rendant durable sa réparation.

F - Le contrôle de la réparation

Il peut aller de la simple prise d'échantillon à la mesure de la profondeur de la zone carbonatée grâce au test de la phénol phtaléine, en passant par des mesures d'adhérence ou de compacité des mortiers de réparation.

Son objectif sera, bien sûr, de contrôler le travail réalisé mais aussi bien souvent un rôle positif sur la qualité de la réparation.

Dans les chantiers de réparation, les problèmes généralement posés, sont beaucoup plus délicats que lorsqu'il s'agit de la construction d'un ouvrage neuf, car on est appelé à juxtaposer des matériaux qui ont des caractéristiques (physiques et mécaniques) différentes : béton jeune-béton ancien, béton-maçonnerie, béton-produits spéciaux. D'où la nécessité d'effectuer un certain nombre d'essais, dont on peut citer :

* essais de réception des matériaux.

* essais in-situ

- * essais d'étude.

*Essais de réception :

Ils ont pour objectif de vérifier la conformité des caractéristiques des matériaux approvisionnés à celles définies par les certificats des fournisseurs, par le cahier des charges ou par les normes en vigueur.

* Essais in-situ :

Ils renseignent sur l'influence de certains facteurs sur le comportement ultérieur des matériaux. Etant donné qu'on s'intéresse, dans cet article, au contrôle des travaux de réparation, il nous paraît judicieux de donner, à titre indicatif, quelques exemples des essais de contrôle.

Sur béton et mortiers :

- * qualité des granulats
- * composition de ciment
- * composition de l'eau de gâchage
- * caractéristiques mécaniques et physiques des bétons et mortiers
- * la convenance pour produits prêts à l'emploi
- * l'adhérence sur support
- * le retrait ou gonflement
- * La traction-flexion

Sur produits spéciaux : (résines époxy peinture)

- *caractéristiques physiques
- *caractéristiques mécaniques
- *(résistances, compression, traction, mesure de l'adhérence).
- *comportement ultérieur par vieillissement accéléré
- *exposition au brouillard salin etc...

Sur aciers :

- *soudabilité des aciers et qualité des soudures
- *caractéristiques mécaniques
- *caractéristiques physiques
- *étude métallurgique (cas des câbles de précontrainte....).