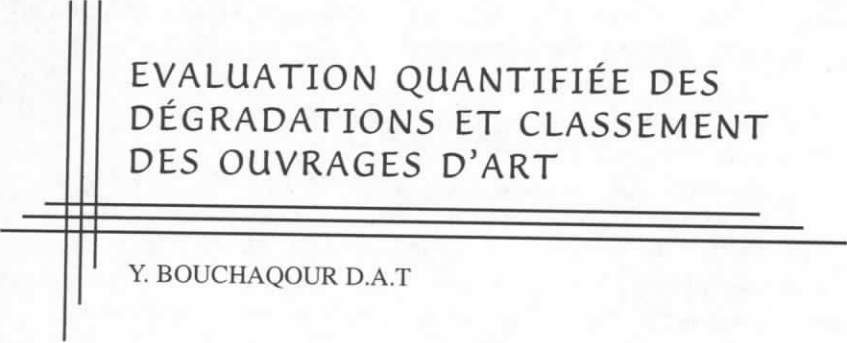


EVALUATION QUANTIFIÉE DES
DÉGRADATIONS ET CLASSEMENT
DES OUVRAGES D'ART



Y. BOUCHAQOUR D.A.T

ÉVALUATION QUANTIFIÉE DES DÉGRADATIONS ET CLASSEMENT DES OUVRAGES D'ART

Les ouvrages d'art d'un réseau routier sont des points singuliers. L'utilisation de ces ouvrages doit pouvoir être assurée d'une manière permanente et dans des conditions de sécurité acceptables. Le maintien de l'adaptation de niveau de service aux besoins se traduit par la nécessité d'entreprendre plusieurs types d'actions: l'entretien, remise en état, renforcement, etc.. Compte tenu de l'importance de l'enjeu et de la difficulté de la situation économique, ces actions doivent être menées en recherchant une optimisation globale, notamment sur le plan économique.

Les ouvrages d'art sont donc, des infrastructures importantes. L'insuffisance ou la défaillance d'un seul peuvent compromettre l'utilisation d'une grande partie du réseau. Ce caractère justifie donc une politique globale de gestion des ouvrages d'art depuis leur mise en service jusqu'à leur remplacement, politique dont les différents aspects sont:

- la surveillance et la connaissance du patrimoine;
- la remise en état et ou le renforcement;
- l'évaluation de la capacité portance des ouvrages d'art.

Ainsi, pour parfaire le système global, les aspects relatifs à la surveillance et de l'évaluation de la capacité portante ayant déjà traité, la connaissance du patrimoine devrait être basée sur des supports objectifs et valables.

Par conséquent, pour avoir une image globale de l'état du patrimoine et uniformiser le contrôle des ouvrages d'art d'une part, et pour permettre aux décideurs d'arrêter une stratégie de remise à niveau et de planifier leurs interventions d'autre part, l'élaboration d'un système objectif pour quantifier l'état des ouvrages d'art est nécessaire.

1 - PHASES D'UNE POLITIQUE GLOBALE DE GESTIONS

Ce système de connaissance du patrimoine parfait le système actuel de gestion des ouvrages d'art qui doit comprendre, vu la conjoncture actuelle avec le resserrement des budgets et le vieillissement du patrimoine :

- *des phases à dominante technique telles que :*
 - la connaissance du patrimoine ;
 - la surveillance ;
 - le diagnostic de l'état du patrimoine ;
 - la recherche des solutions.
- *des phases à dominante politique telles que :*
 - la hiérarchisation des ouvrages indépendamment de leur état ;
 - la définition d'objectifs de qualité de service ;
 - l'arbitrage entre objectifs et moyens permettant de mettre en oeuvre dans le cadre d'une programmation des actions de maintenance, de modernisation ou de création d'ouvrages.

Le système de classement, qu'on propose, fait la conjonction entre toutes ces phases précitées de la gestion des ouvrages, politiques et techniques .

2 - LA PROBLÉMATIQUE

Les ouvrages d'art sont très nombreux (4180) et leur état est souvent mal connu. Ils ne peuvent être examinés régulièrement par les seuls spécialistes des ouvrages d'art eu égard l'importance du patrimoine. Dans la pratique, les subdivisionnaires sont responsables du suivi des ouvrages d'art. Les visites, suivant le canevas de la Direction des Routes et de la Circulation Routière sont le plus souvent réalisées par des généralistes.

Il est à constater qu'une telle situation conduit en général :

- au manque d'homogénéité dans la constatation des défauts ;
- au caractère subjectif des procès verbaux de visite ;
- à l'impossibilité de comparaison des états relatifs des ouvrages d'art.

L'évaluation quantifiée proposée vise à s'affranchir de ces problèmes en attribuant une note à chaque dégradation suivant son importance, à hiérarchiser les ouvrages en adoptant un classement général pour tous les ouvrages .

Le service chargé de la gestion des ouvrages d'art devrait, donc , ne porter son attention et ne faire des investigations complémentaires que sur des ouvrages pour lesquels les dégradations sont les plus graves. Il devrait concentrer ses moyens sur les ouvrages dont la sécurité est précaire, ou elle risque de la devenir à court terme.

3 - OBJECTIF

L'évaluation a pour objet d'obtenir un classement le plus objectif possible du patrimoine et par la sa connaissance parfaite et maîtrisée.

4 - DOMAINE D'APPLICATION

L'évaluation quantifiée est applicable à tous les ouvrages courants en béton armé ou précontraint, en maçonnerie, en métal ou mixte. Elle ne s'applique pas aux ouvrages spéciaux tels que bow - string ou suspendu.

5 - CLASSEMENT DES OUVRAGES D'ART

Avant de présenter le modèle proposé, il n'est pas utile d'essayer de présenter quelques modèles étrangers à savoir le modèle Américain, celui préconisé par les français, le modèle espagnole et la pratique belge.

a - LE MODELE AMERICAIN

Les Etats Unies d'Amérique dispose de plus de la moitié du patrimoine mondiale en ouvrages d'art (570 000 OA). Après l'effondrement du pont Silver Bridge en 1967 qui fit 46 morts, le Federal Highway Administration entama en 1970 les premières inspections des ouvrages.

Pour élire les ponts candidats aux fonds fédéraux et pour assigner des priorités à l'intérieur des ponts éligibles, on a mis en place un système qui consiste à:

1/ inventorier tous les ouvrages par le National Bridge Inventory (NBI) ou toutes les informations des inspections sont stockées . Ces informations (116 champs) se répartissent de la façon suivantes:

- **données de recensement** (57 champs) renseignent sur la localisation du pont, son type, ses caractéristiques géométriques, l'importance du réseau sur lequel il se trouve, son importance historique, la longueur de la déviation en cas de coupure, trafic sur le pont, date de construction du pont, les charges admissibles, les limitations etc..

- **données d'évaluation de l'état du pont** (9 champs):renseignent sur l'état global (condition rating) de chacun des éléments suivants: le tablier,

les appuis et les fondations, la stabilité du lit et les conditions d'écoulement du cours d'eau. Ces données prennent en compte la gravité de la dégradation et son étendue. Chacun de ces éléments est noté de 9 à 0 par ordre de gravité de la dégradation croissant.

- **donnée décrivant le niveau de service rendu** s'obtiennent en comparant le niveau de service, effectivement offert par le pont, avec le niveau de service actuellement requis pour un nouveau pont que l'on construirait sur le même réseau. On note de 9 à 0, suivant le degré de l'inadéquation aux nouvelles conditions du trafic, les éléments suivants: la dégradation globale du pont, la largeur utile du tablier, le gabarit horizontal et vertical sous l'ouvrage, la limitation de charge, l'ouvrage, l'ouverture au passage du cours d'eau, le tracé des rampes d'accès au pont. La note 9 signifie que l'élément est " supérieur " aux critères actuellement requis; 0 signifie que le pont doit être fermé au trafic.

- **données évaluant le coût et le type d'intervention** de réhabilitation à effectuer.

2/ Procéder, après ces informations, au classement des ponts basé sur l'indice de capacité à rester en service le Federal Sufficiency Rating (FSR) . Cet indice est calculé à l'aide des données des classes b) et c) du NBI . La valeur maximale du FSR est 100. Sur les 100 points, 55 points sont affectés à la mesure de la sécurité: la capacité portante.

Le facteur de classement, mesure de la capacité portante, est donné par le rapport de la capacité portante diminuée de l'effet des charges mortes par l'effet du véhicule 3S2 (véhicule de 32 tonnes).

Un pont est élu si son FSR est inférieur à 80. Il pourra être reconstruit si son FSR est inférieur à 50.

Il faut noter que des études pour l'amélioration du système de gestion des ouvrages d'art sont en cours.

b - LE MODELE FRANÇAIS

Après les accidents survenus sur des ouvrages d'art, les autorités françaises, dans le cadre de la politique d'amélioration des routes nationales, ont lancé le programme renforcement coordonné des ouvrages d'art (RCOA) et le programme grosses réparations. Pour élire les ouvrages aptes à bénéficier de ces programmes, il faut instaurer un système de classement des ouvrages proposés par les départements. Des tentatives officieuses ont été publiées en 1990 et en particulier celle du club d'échange d'expérience sur les routes départementales.

Le classement des ouvrages d'art n'est entamé qu'en 1996 après la circulaire du Directeur des routes en date du 21/3/1994 et celle du 26/12/1995 relatives à l'évaluation du patrimoine des seuls ponts situés sur le réseau routier national à des fins d'exploitation statistique au niveau national.

Le manuel image qualité des ouvrages d'art propose de classer les ouvrages d'art en cinq classes 1, 2, 2E, 3 et 3U, dont les définitions sont rassemblées ci-dessous.

Classe 1 : Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'art élaborée en 1979.

Classe 2 : Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements

- ou les éléments de protection présentent des défauts,
- ou dont la structure présente des défauts mineurs,
- et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.

Classe 2E : Ouvrage,

- dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements
- ou les éléments de protection présentent des défauts,
- ou dont la structure présente des défauts mineurs,
- et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3.

Classe 3 : Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence.

Classe 3U : ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation URGENTS liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.

c - MODELE ESPAGNOL

La gestion des ouvrages d'art est entrée en vigueur en 1985, le système est basé sur le modèle Américain . Néanmoins la notation diffère. On se contente que de la codification des dégradations de 1 à 3.

d - MODELE BELGE

La gestion des ouvrages d'art est réglementée par la circulaire N° 543-9 du 20/3/1978 qui détaille les procédures, moyens et classement des ouvrages d'art.

Pour la classification des ouvrages d'art, elle comprend quatre groupes en fonction de leur vulnérabilité.

- Groupe 1 ouvrages très vulnérables;
- Groupe 2 ouvrages moyennement vulnérables;
- Groupe 3 ouvrages peu vulnérables;
- Groupe 4 ouvrages provisoires ou non circulés par des véhicules.

A l'intérieur de chaque groupe, chaque critère constitue un sous-groupe répertorié par le n° du groupe suivi d'une lettre.

e - MODELE PROPOSE POUR LE MAROC

• Facteurs de distinction

L'ensemble des ouvrages d'art d'un réseau routier peut être divisé en éléments ayant une durée de vie relativement courte comme les revêtements, les chapes d'étanchéité, les joints de dilatation, les peintures, etc. et les élé-

ments ayant une longue durée de vie comme les tabliers, les piles, les fondations, etc. Cette division se justifie par le fait que la motivation économique d'une remise en état ou d'un renforcement est plus forte pour les éléments à longue durée de vie que pour ceux de courte durée.

Si l'on considère aussi, les différences au plan technique et économique, une division entre ponts ordinaires et ponts principaux se justifie.

Les considérations relatives à la circulation et en particulier au niveau de service, entraînent une distinction entre les ouvrages d'art selon qu'ils sont situés sur des routes de rase campagne, des routes secondaires, des routes principales .

La politique générale de remise en état et de renforcement et par la suite le système de classement, pourrait donc tenir compte des facteurs suivants:

- Éléments de courte durée
- Éléments de longue durée faisant partie des ponts ordinaires.
- Éléments de longue durée faisant partie des ponts importants :
 - Ponts sur autoroutes et routes principales.
 - Ponts sur routes secondaires.
 - Ponts sur chemins tertiaires.

Une pondération analogue s'appliquerait aux différents types de routes.

• Définition des parties de l'ouvrage

Pour les besoins de la démarche d'évaluation proposé, il convient de distinguer trois parties constitutives dans un pont qui sont la structure, les appuis, la fondation et éléments de protection et les équipements.

Structure

Ensemble des parties constitutives d'un pont qui reçoit les charges et les transmettent au sol de fondation.

Pour les ponts les plus courants, la structure porteuse comprend un tablier qui repose sur des appuis (culées, piles) et leurs fondations par l'intermédiaire d'appareils d'appuis.

Pour un pont cadre ou un portique, la structure comprend le cadre ou le portique lui-même et les murs en aile ou en retour suspendus ou non.

Appuis et Fondation

Les appuis (culées, piles) et leurs fondations sont les parties qui transmettent les charges qui proviennent du tablier au sol.

Dans le terme " fondation ", il faut inclure également le sol environnant qui participe à la tenue de celle-ci.

Les éléments de protection sont les dispositifs annexes à l'ouvrage, destinés à le protéger contre les agressions physiques d'agents extérieurs.

telles que les affouillements par un cours d'eau des fondations, les chocs sur les appuis de corps flottants ou de bateaux, la corrosion des parties métalliques, la dégradation physico-chimique du béton, etc..

Ce sont notamment : les radiers et ouvrages parafoilles, les enrochements, les perrés, les rideaux de palplanches, batardeaux et les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit.

Equipements

Dispositifs ajoutés à la structure porteuse et destinés à :

- permettre l'utilisation de l'ouvrage par l'utilisateur dans des conditions de confort et de sécurité satisfaisantes,
- faciliter sa surveillance et son entretien,
- améliorer son esthétique.

• Principe de la méthode

La cotation d'un ouvrage résulte d'une analyse de son état, faite soit à partir du dossier de l'ouvrage si celui-ci contient un rapport d'inspection détaillée périodique fait dans l'année, soit à l'issue d'une visite sommaire réalisée conformément au canevas de visite proposé.

Pour consigner les résultats de cette visite, des cadres de procès-verbaux sont produits par ailleurs pour certains types d'ouvrages fréquents et de taille modeste ; ces canevas permettent de procéder à l'évaluation de l'état de l'ouvrage, en parcourant une liste des défauts les plus courants, en notant leur existence éventuelle, et en déduisant une cotation ; la cotation de l'ouvrage résulte alors d'une synthèse des cotations des différentes parties d'ouvrage.

. Le principe de la méthode, donc, pour être appliquée nécessite au préalable :

Les données initiales

La méthode, pour être appliquée nécessite au préalable :

- la connaissance de tous les ouvrages d'art, donc un inventaire complet ;
- la hiérarchisation des ouvrages d'art, donc un classement fonctionnel des ouvrages ,
- la connaissance de l'état de les ouvrages d'art donc l'établissement des procès verbaux.

Exploitation

Après avoir terminer le diagnostic de l'état du patrimoine, on calcule pour chaque ouvrage l'indice de gravité de chacune de ses composantes (Tablier, Fondation et Appuis et Equipements) selon le modèle décrit ci-après, on calcule l'indice de gravité global et celui de chaque partie à l'aide du programme GESPAT.(voir chapitre suivant)

Le scénario d'exploitation est le suivant:

- Calcul des indices de gravités IG de chaque partie d'ouvrage à partir des désordres relevés dans les procès verbaux ;
- Calcul des niveaux de service de l'ouvrage ;
- Calcul de la note de l'état global pour tous les ouvrages ;
- Classement selon la note de l'état global.

l'indice de gravité

- Mesures physiques de l'Etat

En toute rigueur, il ne s'agit pas ici de " mesure " au sens mathématique du terme, mais d'échelle d'indicateurs.

A partir d'une combinaison de mesures de l'état d'un ensemble d'éléments constitutifs d'un pont, on peut créer une mesure globale de l'état du pont c'est l'indice de gravité IG.

- Calcul des indices de gravité (IG)

Les indices de gravité reflètent l'état de l'ouvrage. Ils sont calculés par partie d'ouvrage selon la formule : **IG = Somme des Kc2**

K est un coefficient par type d'ouvrage qui permet la comparaison de l'état des ouvrages d'art entre eux en notant sur 1000 chaque partie d'ouvrage. Il est fonction du nombre de désordres pris en compte et de la note maximale qui peut leur être attribuée ($K = 1000 / \hat{A}c2max$)

le coefficient k est donc égal à

	BETON ARME	BETON PRECONTRAINTE	MACONNERIE	METALLIQUE
TABLIER	0.791	0.5695	0.5388	0.644
APPUI ET FONDATIONS	0.6868	-	0.469	-
EQUIPEMENT	0.422	0.422	0.947	0.685

c valeur de chaque stade de dégradation figurant dans le procès verbal de visite quantifié. Elle varie entre 2 et 10 selon la notation ou le barème préconisé ci-après. Elle est élevée au carré pour faire ressortir les dégradations les plus importantes.

- Jugement et évaluation des désordres

Le contrôle visuel est la (presque seule) méthode utilisée couramment pour l'inspection des ouvrages.

Elle doit rester l'élément principal des inspections, mais son efficacité peut être améliorée par :

- Une systématique de progression le long de la structure ;
- Une nomenclature claire et précise des dégâts apparents ;
- Un protocole soigné, intégrant notamment le repérage géométrique des dégâts ainsi que leur ampleur ;
- Une appréciation de la gravité des dégâts tenant compte de leur évolution possible et leur influence sur l'ensemble de l'ouvrage.

L'interprétation des résultats d'un contrôle visuel comprend trois aspects:

- la mise en évidence et la détermination de l'ampleur des désordres ;
- l'appréciation de l'évolution du désordre ;
- le jugement de la gravité des désordres constatés, en tant que dégâts.

• *Existence d'un désordre*

La reconnaissance de l'existence d'un désordre doit pouvoir se faire sur la base du protocole du contrôle visuel.

Il est donc important que celui-ci soit parfaitement objectif et dénué de tout jugement à priori.

Le protocole doit donc prendre :

- le type de désordre constaté ;
- l'emplacement exact ;
- l'ampleur dimensionnelle ;
- les caractéristiques éventuelles (ouverture apparente d'une fissure, genre de concrétion,...).

Il faut éviter d'effectuer trop de transcription, souvent génératrices de pertes d'informations.

Une des meilleures méthodes pour montrer l'existence d'un désordre nous semble donc être :

1 - d'en faire un relevé graphique soigné (éventuellement sur la base ou appuyé sur un dossier photographique),

2 - de compléter le plan par une feuille de " commentaire " donnant les caractéristiques particulières du désordre constaté.

• *Evolution du désordre*

La mise en évidence d'une évolution se fait en prenant référence sur la contrôle précédent.

Ce constat de différence peut avoir lieu :

- In situ : le contour de la zone affectée est souligné (discrètement, pour d'évidentes raisons esthétiques et psychologiques) et daté, et peut être ainsi suivi dans son évolution ; ce traçage est cependant souvent " mangé " par l'avan-

cement du dégât et disparaît partiellement ou totalement ;

- Par relevé graphique : il suffit de faire la différence entre deux protocoles de contrôles successifs ; un relevé graphique soigné démontre alors un autre de ses avantages. Il est ainsi possible de définir facilement :

- l'apparition de nouveaux désordres ;
- la modification des dimensions et caractéristiques de désordres déjà constatés.

Ces deux façons d'aborder la mise en évidence de l'évolution des désordres sont parfaitement complémentaires, et l'on peut affirmer que le traçage in situ est souvent précieux pour effectuer un relevé graphique soigné.

• Jugement de la gravité des désordres

Il n'existe que peu de propositions relatives au classement des désordres apparents par catégories de gravité.

Cela tient au fait qu'un désordre, selon son emplacement, son ampleur et sa vitesse d'évolution, peut avoir des répercussions totalement différentes sur la structure, et devoir être considéré ou non comme un dégât.

On propose cependant de définir un degré de gravité des dégâts apparents, auquel on peut associer un indice complémentaire, en se basant non pas sur la nature du dégât lui-même mais sur les conséquences qu'il peut avoir pour l'ouvrage.

TABLEAU 1 :

Degré de gravité	Conséquence sur l'ouvrage
B	Dégâts purement esthétique ou de finition, sans conséquence directe
C	Dégâts localisé, sans conséquence à court terme
D	Dégâts dont la présence peut générer ou signifier d'autre dégâts
E	Dégâts pouvant déboucher sur la ruine d'éléments secondaires ou sur une altération des conditions d'exploitation
F	Dégâts pouvant déboucher sur la ruine d'éléments porteurs ou sur une mise en danger de la circulation.

On constatera immédiatement que, pour pouvoir attribuer un degré de gravité

à un dégât, il faut pouvoir réunir plusieurs conditions :

- Connaissance du mode d'évolution du dégât,
- Connaissance du fonctionnement mécanique de la structure (statique et résistance des matériaux),
- Vue d'ensemble des dégâts du même type sur l'ouvrage,
- Mise en évidence des relations de causalité entre plusieurs dégâts.

Le jugement de la gravité d'un dégât ne peut donc se faire que difficilement in situ, sous peine d'y faire intervenir une importante part de subjectivité et de ne pas voir certaines corrélations. En effet, peut-on porter un jugement sur une fissure située à l'extérieur d'un caisson tant qu'on n'en a pas vu l'éventuelle correspondance à l'intérieur ?

En résumé, on peut dire que le jugement de la gravité des dégâts apparents devrait se faire :

- Sur la base d'un relevé objectif, précis et complet des désordres,
- Par une personne ayant de bonnes connaissances des conséquences possibles des différents dégâts (formation adéquate),
- Avec une vue d'ensemble de l'ouvrage,
- Après la fin du contrôle,
- Avec l'appui éventuel d'une visite complémentaire in situ (souvent et tant qu'exécutant du contrôle) et/ou d'un dossier photographique.

• Fissures

Etat de fissuration

Il n'existe pas de méthodologie générale pour l'estimation de la gravité des fissures.

Cela tient au fait que les fissures ont des répercussions différentes selon le système structural où elles apparaissent. La fissuration d'une structure ne doit donc pas être considérée a priori comme un dégât.

Il faut distinguer deux aspects pour juger la gravité : la présence de la fissure, et son ouverture.

Pour estimer l'influence de la présence d'une fissure, on propose de décomposer l'analyse en trois paramètres appelés " indices de gra-

ité ”: la nature de la fissure, le nombre, la conséquence.

TABLEAU -II-

INDICE DE GRAVITE A	NATURE DE LA FISSURE
1	fissure stabilisée, provenant de l'exécution ou de déformations imposées
2	Fissure stabilisée, dans la zone d'introduction d'une force concentrée
3	Fissure stabilisée, parallèle à la direction principale de l'élément (sens de la sollicitation principale)
4	fissure non stabilisée, provenant de l'exécution ou de déformations imposées
5	fissure non stabilisée, due aux charges

TABLEAU -III-

INDICE DE GRAVITE B	NOMBRE DE FISSURES
1	fissure isolée, faible ouverture, tracé discontinu
2	fissure isolée, faible ouverture, tracé continu
3	plusieurs fissures parallèles, faible ouverture
4	fissure isolée, large ouverture, tracé discontinu
5	fissure isolée, large ouverture, tracé continu

TABLEAU -IV-

INDICE DE GRAVITE C	CONSEQUENCE EXTREME
1	esthétique, détérioration de la surface
2	corrosion de l'armature constructive
3	corrosion de l'armature principale
4	modification du système structural

On propose de définir le degré de gravité d'une fissure comme le produit multiplicatif des trois indices. On n'obtient cependant qu'une valeur qualitative. Cette valeur peut être pondérée par : l'importance structurale de l'élément considéré et l'origine de la fissure (construction, effets différés, sollicitations). On propose donc d'associer au degré de gravité un indice complémentaire tenant compte de l'importance de l'élément fissuré.

TABLEAU -V-

INDICE COM- PLEMENTAIRE	IMPORTANCE STRUCTURALE
a	élément secondaire non porteur (parapet, mur d'aile de culée,...)
b	élément secondaire du système porteur (dalle inférieure de caisson , raidisseur,...)
c	élément principal du système porteur (poutre, entretoise, pile)

Afin d'obtenir des résultats utilisables sur l'ensemble de l'ouvrage et de pouvoir définir les zones critiques, on peut déterminer le degré de gravité par unité de surface ou par élément inspecté (maille).

Par cette méthode, on peut également donner une valeur numérique à l'évolution du réseau de fissures.

On ne peut cependant pas donner de critères absolus d'appréciation et de décision.

Pour juger de l'influence d'une fissure sur la durabilité d'une structure, il faut encore tenir compte de son ouverture.

Là aussi, il n'existe pas encore de critères absolus relatifs à l'ouverture maximale admissible.

Un domaine relatif à l'ouverture des fissures est celui de l'aspect extérieur de la structure et de l'impact psychologique que la fissuration a sur les usages et les tiers.

La figure suivante donne quelques valeurs indicatives sur l'ouverture acceptable des fissures.

Les critères sont cependant rarement déterminants pour un pont, car l'éloignement de l'observateur est souvent important. dans certains cas toutefois, notamment lorsque l'ouvrage est emprunté ou côtoyé par des piétons, il peut s'avérer nécessaire d'en tenir compte

• Flèche limite

Afin de pondérer l'importance relative des flèches, on considérera le rapport ft/l , où l est la longueur de la travée concernée.

On propose alors de définir la " cote d'alerte " :

Soit par une limitation absolue : $ft/l < 1/500$;

Soit par étapes d'évolution :

$ft/l < 1/1000$ en 5 ans ;

$ft/l < 1/600$ en 10 ans ;

$ft/l < 1/500$ en 20 ans.

Cependant, si l'ouvrage a été calculé pour une flèche initiale quasi nulle, on pourra fixer des limites plus sévères, par exemple $ft/l < 1/1000$ en 20 ans.

• Equipements

Contrôle de l'état

Le jugement se fait de manière directe, sur la base des désordres constatés.

Il porte sur l'appréciation de :

- l'intégrité des éléments ;
- la qualité des matériaux (absence de corrosion, de fissures,...) ;
- la qualité de la protection (peinture,...) ;
- des dépôts pouvant entraver les déplacements ;
- l'efficacité de la couche lubrifiante,...

Une proposition relative au classement des dégâts a déjà été faite (voir 4.1.3).

Contrôle du comportement

Le jugement doit porter sur :

- le respect des limites de fonctionnement (pas de butée) ;
- la réversibilité des déplacements ;
- l'absence de sollicitations non prévues.

Ce suivi doit permettre de détecter assez aisément un mouvement global du tablier ou des fondations. Combiné avec d'autres mesures topographiques, il permet de porter un jugement sur le comportement global de l'ouvrage.

Ces mesures, référencées sur le réglage initial du système, permettent d'apprécier l'étendue de la course, et le cas échéant, de planifier un repositionnement de l'appui ou du joint.

La notation est faite sur la base de la catégorie de la dégradation qui est la conjonction des trois critères : le type de la dégradation, son degré et /ou son extension, son influence.

Les tableaux suivants regroupent les défauts les plus apparents par indice de gravité:

B- Les défauts uniquement esthétiques et sans incidence sur le comportement mécanique de la structure auront la note 2 ;

C- Les défauts susceptibles d'une évolution auront la note 4 ;

D- Les défauts évolutifs auront la note 6 ;

E- Les défauts qui traduisent de façon très nette une modification de comportement de la structure et qui mettent en cause la durée de vie de l'ouvrage auront la note 8 ;

F- Les défauts indiquant la proximité d'un état limite et nécessitant soit une restriction d'utilisation, soit la mise hors service de l'ouvrage auront la note 10.

• *Qualité d'un pont : qualité globale*

La qualité d'un pont est définie par l'ensemble des paramètres physiques de ce pont. Cette qualité détermine la fonction de dégradation du pont IG_g avec

$$IG_g = 0.64 * (IG_{inf}^2 + IG_{sup}^2)^{0.5} + 0.1 * IG_{eq}$$

ou

IG_{sup} = indice de gravité des superstructures ;

IG_{inf} = indice de gravité des infrastructures ;

IG_{eq} = indice de gravité des équipements.

• *Classement des ouvrages d'art*

La conjonction de : i/ l'état du pont et de ii/ l'environnement socio-économique détermine l'utilité du pont et part suite son niveau hiérarchique.

Les méthodes proposées sont des analyses multi - critères se basant sur les critères suivants :

Classe de l'itinéraire:C1

Le réseau routier Marocain vient de faire l'objet d'un reclassement qui prévoit son partage en quatre catégories:

- Le réseau des routes nationales et des autoroutes ou réseau national (RN).
- u Le réseau des routes régionales (RR).
 - Le réseau des routes provinciales (RP).
 - Le réseau communal (RC).

On garde ce même partage de réseau pour distinguer entre les ponts qui se trouvent dans tel ou tel réseau.

Pour chaque catégorie on attribue une note

RN=0 ;RR =1 ;RP=2 ;RC=3.

Classe de trafic :C2

Ce critère est d'une importance certaine. En effet, il donne une idée sur l'importance de la région (tourisme, commerce...) que le gestionnaire doit prendre en compte pour une éventuelle intervention.

Par ailleurs, les coûts sociaux d'une éventuelle défaillance de l'ouvrage sont très liés au volume et à la nature des véhicules qui empruntent le pont.

On définit alors cinq classes de trafic en s'inspirant du catalogue des structures:

T0 : Ouvrages à très fort trafic (>4500 veh/j).

T1 : Ouvrages à fort trafic (2000< >4500 veh/j).

T2 : Ouvrages à trafic moyen (750< >2000 veh/j).

T3 : Ouvrages à faible trafic (250< >750 veh/j).

T4 : Ouvrages à très faible trafic (50< >250 veh/j).

Pour chaque classe on attribue une note correspondante à son indice (T0=0)

Impact sur l'exploitation routière :Possibilité d'aménager facilement une déviation:C3

Ce critère reflète la gêne à la circulation en cas de coupure pour travaux.

On distingue alors entre:

- 1- Déviation possible : Si on peut dévier la circulation sur le terrain avoisinant avec des moyens techniques simples et allongement de parcours des moins de 10 km.

2- Déviation non possible : Si les conditions du premier cas ne sont pas satisfaites (exemple: recours au pont Bailey).

3- Déviation impossible.

Dans le cas 1 on attribue la note 0, 2 pour le deuxième cas et 5 dans le cas contraire .

Portance de l'ouvrage: C 4

La question fondamentale que posent l'ingénieur vérificateur est bien celle-ci: Les anciens ouvrages sont-ils toujours aptes aux services qu'on leur demande?

Pour répondre à cette question, les programmes sont élaborés pour apporter toutes les informations concernant la portance des ouvrages moyennant les essais de chargement et de mesure de la résistance.

Les classes d'ouvrages selon leurs portances:

Pour un ouvrage donné, soit $Cop_{max} = (MR - M_{cp}) / M_{max}$

MR : Le moment résistant d'un élément (poutre ou pièce de pont) à vérifier en application de règlement utilisé pour le calcul de pont.

M_{cp} : moment fléchissant sous charges permanentes.

M_{Bc} : moment dû aux surcharges BC .

M_{max} : moment dû aux surcharges extrêmes.

On définit ainsi quatre classes :

- P1 : Cop_{max} est supérieur à 1 : pas de limitation de charge.
($P > 100$ tonnes).
La note attribuée est 0;
- P2 : $Cop_{max} \leq 1$ et $Cop_{Bc} \geq 1$: permis pour les surcharges routières seulement.(P est égale à 60 tonnes)
La note attribuée 2;
- P3 : $Cop_{Bc} = 1$: limitation de surcharge routière.
(P est égale à 30 tonnes) ;
La note attribuée est 3;
- P4 : $0.5 \leq Cop \leq 1$: limitation de surcharge routière.
(P est égale à 15 tonnes)
La note attribuée est 5.

Largeur de l'ouvrage : C5

Suivant la possibilité de croisement des types de véhicules offerte par la largeur de chaussée L, on définit cinq classes du ponts suivantes :

- $L < 4$: impossibilité de croisement pour tous types de véhicule ; Note =5;
- $4 < L < 5$: impossibilité de croisement pour véhicules légers et lourds ; Note =3;
- $5 < L < 6$: impossibilité de croisement pour véhicules lourds ; Note = 2;
- $6 < L < 7$: croisement possible des véhicules lourds ; Note =1;
- $L > 7m$: croisement possible de tous type de véhicules ; Note =0 ;

Conditions hydrauliques de l'ouvrage: C6

Plusieurs ponts marocains sont conçus pour être à tablier submersible. L'importance de ce critère réside au niveau de service global de l'itinéraire .

Il permet aussi au gestionnaire de calculer la rentabilité et l'utilité de l'ouvrage.

On distingue alors entre:

- Ouvrage non submersible à l'importe quelle crue ;
- Ouvrage submersible sous les crues dépassant la crue décennale.

Dans le cas 1 on attribue la note 1, et dans le cas contraire la note 0.75.

Risque pour les tiers en cas de rupture : C7

Suivant le risque de rupture qu'on peut admettre pour obstacle franchie on définit 3 degrés :

- 1 - Franchissement de la voie ferrée ou d'une autoroute : note = 1 ; risque important;
- 2 - Franchissement de la route ou canal : note =2 ; risque moyen
- 3 - Autres franchissement : note =3 . risque faible ou nul.

Valeurs économiques de l'ouvrage :C8

Ce critère reflète la valeur du patrimoine et son coût d'exploitation. Selon la surface utile de l'ouvrage majorée par un coefficient dit de fondation profonde pris égal à 1.33 si elle existe. On distingue 4 classes :

- 1- SU supérieure à 500 m² soit une longueur dépassant 60 m ; note = 3;
- 2- SU de 100 à 500 m² soit une longueur supérieure à 10 m ; note = 2 ;
- 3- SU inférieure à 100 m² soit une longueur inférieure à 10 m ; note = 1 ;
- 4- Ouvrage historique : 10.

On pondère les critères cités ci-dessus suivant leur degré d'importance vis-à-vis de la sécurité de l'utilisateur et son confort.

a - La hiérarchisation des ouvrages indépendamment de leur état : niveau de service.

Niveau de service : c'est l'état permettant à cet ouvrage d'offrir pour son exploitation un niveau de service déterminé en ce qui concerne, et par ordre de priorité :

- la sécurité des usagers de la route et des tiers,
- la pérennité de l'ouvrage (conservation du patrimoine),
- le confort des usagers (obligation d'attente à l'entrée des ouvrages étroite, restriction de tonnage, coupure de la circulation du fait de la submersibilité des ouvrages).

La définition du niveau de service de référence fait partie des choix qui appartiennent à l'autorité en charge de la fixation de la politique routière.

Elle a pour but de faire un classement fonctionnel (i-e) classer les ouvrages, indépendamment de leur état, selon le rôle qu'ils jouent.

Le niveau de service NS est égal à :

$$NS = C6 * (5 - C2) + 3 * (5 - C4) + 3 * (5 - C2) + \sup((C2 - C5); 0) + C1$$

On aura donc, selon le niveau de service, 5200 classes. Une valeur faible du niveau de service implique une faible satisfaction des usagers, soit un niveau de service faible.

b - La hiérarchisation des ouvrages selon leur état : niveau de gravité

Pour caractériser le préjudice des dégradations et par la suite; le degré d'intervention, on définit le niveau de gravité comme la conjonction de l'indice de gravité déjà calculé avec les paramètres relatifs à la sécurité des tiers, au

trafic, à la possibilité de déviation, à la nature de la route et à l'importance économique de l'ouvrage.. Soit :

$$NG = (C1 + 3 \cdot (C3 + (5 - C2)) + C8 + C7) \cdot IG / 10.$$

On aura à distinguer 405 classes

c - La hiérarchisation globale des ouvrages : niveau hiérarchique

Aux fins de classement et pour montrer la gravité des dégradations, on définit le niveau hiérarchique comme le rapport du niveau de gravité par le niveau de service. On aura donc 86400 classes en dehors des gravités.

$$NH = 6000NS / NG$$

Tant que le niveau de gravité est grand tant que le niveau hiérarchique est bas.

• Les étapes de la méthode

Calcul des dégradations limitées

L'ouvrage visité est décomposé en trois parties : fondations appuis, structure, superstructure. Les dégradations sont repérées et notées (c). Ces valeurs sont comparées à des dégradations limites qui permettent d'évaluer des indices de gravité puis des indices d'urgence, et enfin une note d'intervention sur l'ouvrage.

La dégradation limite DL est une valeur correspondant à un niveau de service acceptable. Elle variera :

En fonction de l'importance de l'ouvrage ; ainsi une même dégradation pourra être retenue dans le calcul de l'indice d'urgence pour un ouvrage important et ne pas l'être pour un ouvrage hiérarchiquement moins important.

En fonction de l'interaction éventuelle entre l'ouvrage et son environnement, ceci afin de prendre en compte ce qui ne se voit pas : risque d'affouillement pour les appuis, fragilité pour les structures, risque de chocs sur les superstructures du fait de la différence de largeur de chaussée sur ouvrages d'art et lors ouvrages d'art.

On calculera les dégradations limites pour chacune des trois parties d'ouvrage de la façon suivante en utilisant la formule : **DL = 8-I**

1 - VALEUR DE TYPE D'OUVRAGE

PARTIE	VALEUR DE I	TYPE D'OUVRAGE
1ère Partie : Appuis et Fondations		ouvrage d'art
- affouillement possible voie non navigable	1	
- affouillement impossible	0	
2ème Partie : Structures		
- ouvrages à câbles	2	
- ouvrages métalliques, précontraints, mixte	1	Ponts, Viaducs
- ouvrages béton armé, maçonnerie	0	
3ème Partie : Equipements:		
Risque de chocs du fait de différence de largeur de chaussée sur ouvrages d'art et hors ouvrages d'art.		
- Rétrécissement de chaussée sur ouvrage > 0.5 m	2	
- Rétrécissement de chaussée sur ouvrage < 0.5 m	1	
- Pas de rétrécissement	0	

2 - CALCUL DES INDICES DE GRAVITE (IG)

Les indices de gravité reflètent l'état de l'ouvrage. Ils sont calculés par partie d'ouvrage selon la formule :

$$IG = \text{Somme des } Kc^2$$

K est un coefficient par type d'ouvrage qui permet la comparaison de l'état des ouvrages d'art entre eux en notant sur 1000 chaque partie d'ouvrage. Il est fonction du nombre de désordres pris en compte et de la note maximale qui peut leur être attribuée ($K = \frac{1000}{\sum c^2_{\max}}$)

c valeur de chaque stade de dégradation figurant dans le procès verbal de visite quantifié. Elle est élevée au carré pour faire ressortir les dégradations les plus importantes.

3 - CALCUL DES INDICES D'URGENCE

Les indices d'urgence sont également calculés par partie d'ouvrage selon la formule :

$E = IG \times (n+1)$; n est le nombre de désordres supérieur ou égal à la dégradation limite de la partie d'ouvrage concernée. Le coefficient $n + 1$ a été choisi pour éviter de multiplier par zéro quand $n = 0$.

4 - CALCUL DE L'INDICE D'INTERVENTION

L'expérience montre qu'en première approximation, l'indice d'intervention I peut être pris égal à la valeur la plus forte des trois indices d'urgence correspondant à chacune des parties de l'ouvrage.

$I = \max (E1 \text{ fondation appuis, } E2 \text{ structure, } E3 \text{ équipements}).$

Une intervention s'avère urgente dès que I dépasse 1000

Classement des ouvrages

La cellule spécialisée ouvrages d'art effectue alors un classement des ouvrages d'art selon l'indice d'intervention I et le niveau hiérarchique.

5 - CLASSES DES OUVRAGES

On fixera, pour commodité statistique, cinq classes selon le niveau hiérarchique, à savoir:

La classe 1 : correspond aux ouvrages en bon état et un bon niveau de service ($NH > 1000$)

La classe 2 : correspond aux ouvrages dont la structure porteuse est en bon état apparent ou présente des défauts mineurs qui ne nécessitant qu'un entretien courant. Etat moyen et bon niveau de service ($600 < NH < 1000$)

La classe 3 : correspond aux ouvrages dont l'état est mauvais avec apparition des dégâts évolutifs et niveau de service acceptable ($350 < NH < 600$)

La classe 4 : correspond aux ouvrages dont l'état est très mauvais, niveau de service peu acceptable ($200 < NH < 350$)

La classe 5 : correspond aux ouvrages dont l'état est inquiétant ainsi que le niveau de service. L'ouvrage nécessitant une intervention urgente ($NH < 200$)

On peut ajouter, pour fin de programmation, des sous-classes d'urgence soit:

Classe 3 U de même niveau que la classe 3, mais apparition d'une urgence c'est à dire l'indice d' intervention I dépasse 1000;

Classe 4 U de même niveau que la classe 4, mais apparition d'une urgence c'est à dire. l'indice d' intervention I dépasse 1000;

• Critères de décision

L'état de l'ouvrage ou son indice de gravité peut être analysé en deux ordres :

- 1- Pour chaque partie de l'ouvrage l'indice de gravité est une sonnette d'alarme qui déclenche l'intervention d'un spécialiste si sa valeur est supérieur à 150.
- 2- Pour une " famille " d'ouvrage (d'un itinéraire) à l'aide d'un histogramme permet de juger de l'état global de cette famille. Cela permettra de revoir les bases de conception (les règlements et les normes).

Qualité des ouvrages :

- | | |
|---|--------------------------------|
| - pour un indice de gravité global < 75 | : ouvrage en bon état |
| - pour un indice de gravité global de 76 à 150 | : ouvrage en état moyen |
| - pour un indice de gravité global de 151 à 250 | : ouvrage en état mauvais |
| - pour un indice de gravité global de 251 à 400 | : ouvrage en très mauvais état |

- pour un indice de gravité global supérieur à 400 :ouvrage dangereux.

La sonnette d'alerte doit se déclencher dès que l'indice de gravité global IGg est supérieur à 250.

Par ailleurs, le tableau suivant indique les grandes lignes de la politique de gestion appliquée aux classes élaborées ci-dessus:

1- DEMARCHE POUR CLASSER UN OUVRAGE

La démarche d'appréciation de la classe dans laquelle doit être rangé un pont est conduite selon le processus résumé dans l'organigramme de la page suivante :

Classe	Mode de surveillance	Type d'intervention	Observations
5	Haute	Urgente qui vise le rétablissement de niveau de service ou le remplacement.	Risque pour la sécurité des usagers de la route et des tiers.
4U	Renforcée	Rétablissement de niveau de service ou limitation de charge.	Diminution de la portance de l'ouvrage.
4	Renforcée	ou avec possibilité de procéder à un élargissement	idm
3U	Renforcée		Risque d'une diminution de la portance.
3	Continue	Entretien spécialisé pour arrêter l'évolution de la dégradation	idm
2	Continue	Entretien courant	
1	Continue	Pas d'intervention	

a - Connaissances de l'état des ouvrages : Procès verbaux de la visite

Le procès verbal, dont le canevas est donné après, permet de faire des analyses micro-économiques et de prendre des décisions ponctuelles (ex: programmation annuelle des études et des travaux). Le mémoire sur l'évaluation de la capacité portante et classement des ouvrages d'art, propose un vad mecum qui constitue un guide de visite quantifiée.

b -Rôles et responsabilités

Services Centraux	CERET	Gestionnaire local
Programmation annuelle des études et/ou des travaux.	Classement des ouvrages d'art selon leur état	Appréciation des désordres et leur évolution par rapport aux visites précédentes
Connaissance de l'état des ouvrages d'art.	Evaluation plus précise des réparations importantes	Alerte
		Préclassement des ouvrages en fonction de leur état.

c - Périodicité des visites

Ouvrage importants : tous les ans

Les autres : tous les trois ans.

d - Contenu d'un procès verbal quantifié :

Chaque ouvrage est décomposé en trois parties :Fondation et appris, structures, équipements.

Le procès verbal canevas sera remplie selon les canevas ci-après. Ensuite , l'indice de gravité de chaque partie ainsi que l'indice global seront calculés et le préclassement serait fait au niveau local.

1-1 TABLIER EN BETON ARME

CODE	DEGRADATION	OBSERVATION	NOTE
COMPORTEMENT			
101	Déformation permanente		8
102	Flèche permanente excessive		10
121	Déplacement relatif		10
122	Blocage		10
141	Vibration		10
ELEMENT EN BETON			
201	Efflorescences		6
202	Stalactites		6
203	Faïençage fissure $e < 0,3$ mm $0,3 < e < 1$ mm $e > 1$ mm		4 6 10
205	Couleur		4
206	Manque de recouvrement des armatures		4
221	Gonflement		4
222	Épaufrure $s < 1$ m ² ou $l < 1$ m $e < 5$ mm $s < 1$ m ² ou $l < 1$ m $e > 5$ mm $s > 1$ m ² ou $l > 1$ m $e < 5$ mm $s > 1$ m ² ou $l > 1$ m $e > 5$ mm		4 6 6 8
223	caillage		6
224	Nid de cailloux étendu		6
225	Désintégration		10
FISSURES			
250	Fissure courte longueur $< 0,60$ m		4
251	Fissures fines: inférieures à 1 mm		4
252	Fissures moyennes de 1 à 2 mm		6
253	Fissure d'ouverture supérieure à 2 mm		8
254	Fissure transversale inférieure à 0,3 mm		6
255	Fissure transversale de 0,3 à 1 mm		8
256	Fissure transversale supérieure à 1 mm		10
257	Fissure reproduisant le tracé des armatures		4
258	Cassure sur élément porteur		10
ARMATURES			
401	Barre dénudée		8
421	Rupture		10
422	Barre détendue ou rompue		10
404	Corrosion généralisée		8

EXEMPLE DE FICHE DE PROCES VERBAL DE LA VISITE QUANTIFIEE :

FAMILLE:

PROVINCE :

TABLIER :

Subdivision :

Route :

Type Coupe Matériau

NOM DU FRANCHISSEMENT :

.....

OUVRAGE N° :

FRANCHISSEMENT

NOM : Identifiant			
Nombre d'ouvrages (s) :			
Trafic de la route(T.J.M..A)	PK	N°	TYPE
Catégorie de la route:			VOIES
			Portée
			Franchie 1
			Franchie 2
			Franchie 3

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

N°

NOM :

L'ouvrage est-il un élargissement ? (0/N) Facteur de portance.....

Nombre de travées : Biais mini.....gr Biais max..

.gr

LONGUEURm LARGEUR.....m

SURFACE.....m²

TYPE PROBABLE DES FONDATION:.....

Tirant d'air maximal (distance entre l'intrados et le point le plus bas de la brèche).....m

CULEES	Type	Matériau	PILES			
			Début fin	Nb	Type	Matériau
Co Mur de front			à à à			
Mur de gauche						
Mur de droite						
Cn Mur de front						
Mur de gauche						
Mur de droite						

Date d'achèvement des travaux de construction :

Période.....

VISITE

Noms des visiteurs	Conditions climatiques Températures °C Temps
CLASSE DE L'OUVRAGE :	Moyens utilisés
DATE DE LA VISITE :	