

Version provisoire

Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine

Sommaire

1 - Principes généraux.....	9
2 - Définition de la valeur sociétale de l'ouvrage	11
3 - Calcul des paramètres caractérisant la valeur sociétale	13
3.1 - Coût d'un ouvrage neuf.....	13
3.2 - Coût d'une partie d'ouvrage (Coût _{partie}) ...	14
3.3 - Influence de l'état des différentes parties d'un ouvrage (α Etat partie)	15
3.4 - Prise en compte de la robustesse de l'ouvrage (γ robustesse).....	17
3.5 - Défalque pour vétusté globale (δ vétusté)....	17
3.6 - Coefficient d'influence entre les parties (β partie)	18
3.7 - Coefficient d'importance socio-économique de l'ouvrage (C_{ISE})	19
4 - Évaluation du coût des travaux.....	22
4.1 - Évaluation du surcoût lié à l'exploitation ..	24
5 - Critère de gestion et indicateurs de l'état intrinsèque du patrimoine	25
5.1 - Indicateurs de suivi de l'état de l'ouvrage	25
5.2 - Indicateur économique de l'état moyen du patrimoine	26
5.3 - Coût de remise à niveau du patrimoine ...	27
5.4 - Stratégies de gestion du patrimoine.....	27
5.5 - Rentabilité et hiérarchisation des travaux	28
5.6 - Programme des travaux.....	29
6 - Conclusion	29

Cette méthode est basée sur le calcul de la valeur sociétale de chaque ouvrage d'un patrimoine, valeur calculée en tenant compte :

- de sa valeur à neuf ;
- de son coût de démolition et de remplacement en fin de vie ;
- de son état actuel, ou après opération de maintenance ;
- de critères socioéconomiques donnés par le maître d'ouvrage
- du type d'ouvrage, de sa robustesse et de sa vétusté ;
- des aléas ou agressions extérieures auxquels il a été ou il est soumis.

La valeur sociétale combine donc la valeur intrinsèque et la valeur d'usage de l'ouvrage.

Il existe déjà des méthodes de gestion utilisant ces différents paramètres mais ces méthodes procèdent toujours par croisement d'indices ou d'indicateurs. Cette méthode originale valorise l'ensemble de ces paramètres et fournit au gestionnaire et au maître d'ouvrage un indicateur global de la valeur de ses ouvrages.

Grâce à cette méthode, il est donc possible de prioriser les actions de maintenance par un simple classement des ouvrages à partir de la rentabilité (gain en valeur sociétal / coût des travaux) des opérations envisagées pour la maintenance.


Il est aussi possible d'introduire différents scénarios d'entretien ou de réparation, afin de les comparer sur un ouvrage particulier.

La méthode permet aussi d'évaluer une politique de gestion, grâce à quelques critères simples sur la valeur sociétale globale de son patrimoine.


La méthode exposée dans ce document est donc destinée à aider les gestionnaires d'ouvrages d'art dans la hiérarchisation de leurs opérations de maintenance et de réparation. Basée sur la méthode d'évaluation IQOA (Image Qualité des ouvrages d'art) utilisée pour le réseau des routes nationales, elle peut toutefois facilement être étendue à tout système de gestion possédant une cotation des ouvrages par parties. Par contre, en fonction de la nature du parc du gestionnaire, une recalibration de certains coefficients sera sans doute nécessaire.

Page laissée blanche intentionnellement

Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine



Collection les rapports



Cette nouvelle méthode de gestion a été développée par un groupe de travail composé des personnes suivantes :

Christophe AUBAGNAC (LR Autun)

Jacques BILLON (CETE de l'Ouest)

Clément BONIFAS (CETE Nord Picardie)

Aurélie BUGE (CETE Sud-Ouest)

Pierre CORFDIR (CETE de l'Est)

Eric DELAHAYE (CETE Nord Picardie)

Vincent FARDEAU (Sétra)

Bruno GODART (IFFSTAR)

Gilles LACOSTE (Sétra)

Renaud LECONTE (CETE de Lyon)

Denis MALATERRE (Sétra)

S.NEIERS (CETE de l'Est)

Pierre PAILLUSSEAU (CETE Sud-Ouest)

Davy PRZYBYLA (CETE de l'Est)

Le pilotage du projet a été assuré par MM Pierre CORFDIR et Gilles LACOSTE.

Préface

Les recherches qui ont conduit au développement de cette méthode ont débuté par un état de l'art des méthodes de gestion disponibles en France et à l'étranger pour élaborer des stratégies de maintenance d'un patrimoine d'ouvrages.

Les méthodes utilisées en France sont basées sur l'évaluation de l'état structurel quantifié de la méthode IQOA ou sur des concepts proches, complétée par des critères de gestion relatifs au coût des opérations de maintenance, à l'environnement ou à la stratégie politique du maître d'ouvrage. Par exemple, pour les méthodes développées en France par l'Etat :

- La méthode VSC introduit des critères socioéconomiques et les croise avec la cotation de l'ouvrage ; cela permet une programmation des travaux ne tenant pas compte exclusivement de leur état (à cotation égale, sauf travaux très urgents, un ouvrage plus stratégique est traité en priorité) ;
- La méthode Départementale du Sétra introduit des considérations analogues pour la hiérarchisation d'un patrimoine de ponts.

Les méthodes étrangères, quant à elles, balayent un large éventail de possibilités depuis des méthodes de cotation structurelle globale comparables dans leurs principes à la méthode IQOA, en distinguant de 5 à 10 classes d'état, jusqu'à des méthodes plus sophistiquées qui cotent individuellement chaque partie d'un ouvrage.

Les méthodes les plus sophistiquées peuvent intégrer l'évaluation de tous les travaux de remise en état, et tenir compte de modèles de dégradation des matériaux pour comparer diverses stratégies d'entretien et préconiser un ordre d'intervention des travaux de réparation sur le patrimoine complet. Mais leur déploiement complet suppose que toutes les évaluations et estimations des travaux sont disponibles pour tous les ouvrages, ce qui est très contraignant.

Ceci correspond aux préconisations de l'étude européenne BRIME, mais semble surtout applicable à des patrimoines d'importance moyenne, constitués d'ouvrages de types similaires. Enfin, les moyens à mobiliser dans cette approche sont très importants et ces méthodes impliquent de disposer de bases de données très détaillées, parfaitement remplies et homogènes, ce qui est rarement le cas.

Les Etats Unis d'Amérique en particulier ont conçu le logiciel Pontis qui fonctionne selon ce principe. Ce logiciel est implanté dans tous les Etats pour le recueil des données et quelques uns l'utilisent aussi pour leur stratégie de gestion et pour l'étude de différents scénarios de maintenance. Certains États lui reprochent cependant une certaine opacité, car il n'explique pas à l'utilisateur les choix effectués.

Nous proposons dans le présent rapport une méthode dérivée des mêmes principes, mais volontairement simplifiée pour limiter la quantité de données à recueillir et d'études préalables à mener au niveau de chaque ouvrage. Cette méthode est en cours de tests dans certaines Directions Interdépartementales des Routes sur des patrimoines réels. Si ceux-ci sont satisfaisants, le Sétra proposera à la Direction des Infrastructures de Transport sa généralisation à tous les ouvrages de réseau routier national non concédé et la mettra à disposition des autres maîtres d'ouvrage.

Introduction

La gestion du patrimoine est un enjeu majeur pour des maîtres d'ouvrage confrontés à des patrimoines vieillissants et à des trafics routiers de plus en plus agressifs.

Elle demeure la mission essentielle du maître d'ouvrage qui doit garantir un bon niveau de service pour les usagers, dans des conditions de sécurité satisfaisantes, et tout en maîtrisant ses dépenses. Les gestionnaires sont donc confrontés en permanence à des choix complexes, qui intègrent les exigences de sécurité, les conditions d'exploitation, la gravité des désordres et l'urgence des réparations. Si certains choix s'imposent, d'autres peuvent apparaître moins rationnels, car la notion bénéfice/coût des travaux a été jusqu'à maintenant peu étudiée pour les ponts. Quelques questions essentielles méritent d'être posées:

- affecte-t-on les moyens financiers sur les travaux les plus utiles pour la conservation du patrimoine ?
- réalise-t-on la meilleure répartition des financements entre les actions préventives et les actions curatives ?
- des politiques différenciées sont-elles à envisager par zone à desservir ou par itinéraire?
- quels travaux permettent a minima de conserver l'état moyen de son patrimoine ?

Ces questions prennent une importance accrue au moment où les moyens financiers sont contraints alors que le patrimoine vieillit. La prise en compte du développement durable dans nos politiques de gestion du patrimoine est devenue un enjeu primordial; elle nous incite, en amont à concevoir des ouvrages présentant de faibles coûts de maintenance et une très longue durabilité, et en aval à développer les actions de maintenance préventive.

En France, les méthodes de gestion actuelles permettent principalement de hiérarchiser les ouvrages en fonction de leur état apparent. Les pathologies les plus évidentes sont mises à jour et le gestionnaire peut ainsi intervenir pour assurer la pérennité de l'ouvrage et la sécurité du public. Cette méthode demande évidemment une bonne formation et une bonne expérience des gestionnaires afin qu'ils détectent à temps les pathologies, mais elle ne permet pas d'anticiper par une maintenance préventive bien choisie.

Il importe aujourd'hui d'apporter des approches plus rigoureuses et plus modernes dans la gestion du patrimoine, comme l'analyse des risques, l'analyse du cycle de vie et l'analyse coûts-bénéfice. La méthode d'aide à la programmation des travaux d'ouvrages d'art développée ici par le Sétra, le LCPC et les Cete s'appuie sur ces concepts, de manière certes encore partielle et incomplète, mais en tout cas novatrice. Ainsi, toute intervention est analysée à l'aune de ces critères. On introduit ainsi dans notre méthode les notions de robustesse de l'ouvrage, d'importance stratégique du franchissement, de valeur sociétale, notions qui permettent de fonder une gestion d'un patrimoine composé d'ouvrages et de situations variées.. L'analyse coût/bénéfice des travaux doit bien sûr être subordonnée au traitement prioritaire de tous les problèmes graves détectés lors de la surveillance du patrimoine qui affectent la sécurité immédiate des usagers.

La méthode présentée dans ce guide s'appuie sur les informations disponibles dans la base de gestion des ouvrages Lagora, mais la méthode est compatible avec tout système permettant de décrire l'état du patrimoine. La valeur d'un ouvrage est déprécié en fonction de son état. Le vieillissement naturel d'un patrimoine non entretenu est simulé à partir de travaux publiés par le LCPC et le Sétra. Les interventions du gestionnaire visent naturellement à permettre aux ouvrages de lutter contre les outrages du temps. La méthode permet de simuler et de comparer l'état futur d'un patrimoine, entretenu ou non. Le coût moyen des interventions est évalué à l'aide de métrés sommaires et de la mercuriale de prix du Setra sur la réparation des ouvrages. On peut ainsi procéder à une pré-programmation grâce à un outil qui permet d'évaluer les coûts de remise à niveau total ou partiel de son patrimoine, d'évaluer la rentabilité des investissements, de hiérarchiser les priorités en travaux préventifs et curatifs, de cibler les travaux sur les parties d'ouvrage les plus mal cotées.

L'attention du gestionnaire est attirée sur le fait que cette méthode place en tête de liste les ouvrages qu'il est rentable de traiter pour le maître d'ouvrage. Les ouvrages qui menacent ruine ou présentent des défauts mettant en cause la sécurité des usagers sont à gérer, en urgence, mais ne relèvent pas

de la méthode exposée. Cette méthode n'a bien sûr pas pour objectif de se substituer au gestionnaire qui a une connaissance fine de son patrimoine et qui demeure le garant de sa bonne gestion. Il y trouvera cependant une aide et elle lui permettra de faire de l'entretien préventif, puisqu'elle peut simuler différentes stratégies de maintenance. Enfin, précisons que la méthode s'applique actuellement aux seuls ponts. Il sera possible de l'adapter aux murs de soutènement puis à d'autres ouvrages dès que les données suffisantes permettant de les étudier seront disponibles.

1 - Principes généraux

La valeur sociétale d'un ouvrage est la valeur accordée par un gestionnaire à un ouvrage en service sur la base de son coût neuf, modulé par des coefficients permettant de prendre en compte son état, son âge, sa conception, son importance socio-économique, et sa situation.

On peut définir plusieurs valeurs sociétales pour un ouvrage (voir glossaire) :

- la valeur sociétale avant réparation qui est la valeur sociétale de l'ouvrage dans son état actuel ;
- la valeur sociétale après réparation, une ou plusieurs parties ayant été remises en état.
- la valeur sociétale d'un ouvrage parfaitement entretenu, toutes ses parties étant en bon état après réparation des parties qui le nécessitent ;

Le principe de la méthode de hiérarchisation des opérations de maintenance d'un ouvrage consiste à évaluer **sa valeur sociétale** avant et après une opération de réparation.

On compare ensuite la différence de ces deux valeurs, c'est à dire le gain de valeur sociétale, au coût des travaux considérés.

On calcule ainsi la rentabilité des travaux comme le rapport du gain de valeur sociétale au coût des travaux.

$$R_{\text{Travaux}} = \frac{\Delta \text{Valeur sociétale}}{\text{Coût}_{\text{Travaux}}}$$

On peut, par cette méthode, optimiser la gestion d'un patrimoine en orientant les dépenses vers les réparations les plus rentables d'un point de vue patrimonial. Tous les critères d'une bonne gestion sont monétisés, ce qui permet de prendre en compte non seulement les aspects financiers, les lois de vieillissement, mais aussi les aspects sociaux, patrimoniaux et les enjeux de sécurité tant pour la voie portée que pour les éventuelles voies franchies. Dans notre méthode, entretien et réparation sont traités de façon conjointe. Il est également loisible d'appliquer cette méthode d'une part pour les seuls ouvrages nécessitant un entretien spécialisé, et d'autre part pour ceux qui ont besoin de réparation. Le gestionnaire dispose alors de deux familles plus homogènes, chacune avec leur propre priorité, à charge pour lui de répartir son budget global sur le préventif ou sur le curatif, selon la politique qu'il a choisie.

Le calcul de la valeur sociétale est fait à partir de trois sources principales de données :

- la base de données du gestionnaire, qui fournit des informations essentielles sur l'ouvrage (type, dimensions principales, nombres de travée ...) et sur l'état global de l'ouvrage et de ses différentes parties (structure, appuis et équipements).
- les données sur les coûts de construction des ouvrages, qui sont issues de la base statistique du coût des ouvrages neufs du Sétra. A noter qu'il serait intéressant de compléter cette base par la collecte des coûts relatifs aux tabliers, piles et culées, équipements et fondations profondes afin d'obtenir une précision plus grande dans l'évaluation du coût de l'ouvrage. On ne dispose en effet pour le moment que de coûts globaux relatifs à la construction du pont.
- les coûts de réparation qui sont tirés d'une enquête faite en 1996, par le Réseau Scientifique et Technique du ministère, sur un échantillon de 500 ouvrages pris dans le réseau national. Là encore, ces données mériteraient être complétées et affinées pour obtenir une meilleure précision dans la hiérarchisation des opérations de réparation d'un parc d'ouvrages. Il est donc prévu de compléter l'étude statistique de 1996 en créant un observatoire national des coûts de réparation auprès des DIR et des collectivités locales, comme cela se fait déjà pour le coût des ouvrages neufs.

La méthode proposée pour hiérarchiser automatiquement les travaux à réaliser présente toutefois plusieurs limites :

- bien que la sécurité de l'ouvrage soit globalement prise en compte, les urgences ne peuvent être intégrées à notre méthode, car elles relèvent soit d'aléas soit de négligence. Il faut

évidemment traiter immédiatement tous les problèmes liés à la défaillance des équipements qui peuvent mettre en cause la sécurité des usagers, ainsi que les risques de ruine structurelle prévisible à très court terme. Cette méthode ne dispense évidemment pas le gestionnaire de placer ses ouvrages critiques sous le régime de surveillance renforcée ou de haute surveillance ;

- comme indiqué plus haut, les données statistiques nécessaires à un calcul fin de la valeur sociétale sont parfois indisponibles ou insuffisantes à l'heure actuelle. Certaines lois de dégradation des matériaux ou certains facteurs décrivant la durabilité des structures ne bénéficient pas encore d'apports scientifiques suffisants. Des travaux et collectes de données sont en cours dans ces domaines ; ils permettront de fiabiliser les résultats obtenus par cette méthode qui apporte un traitement statistique et rationnel à un grand nombre d'ouvrages mais ne peut se substituer au jugement du gestionnaire spécialiste du domaine des ouvrages d'art sur chaque ouvrage.
- la méthode proposée se limite aux ponts. Il sera possible de l'adapter au traitement des murs de soutènement puis à d'autres ouvrages dès que des données statistiques suffisantes seront disponibles.
- certains grands ouvrages particuliers doivent être traités à part par le gestionnaire. C'est le cas par exemple des ponts à haubans ou suspendus. Ces ouvrages doivent bénéficier d'un suivi et d'une maintenance particulière à adapter au cas par cas.

2 - Définition de la valeur sociétale de l'ouvrage

La valeur sociétale de l'ouvrage correspondant au coût de l'ouvrage neuf déprécié ou apprécié par un certain nombre de coefficients définis ci-après.

Pour estimer cette valeur sociétale, l'ouvrage est décomposé en parties: tablier, appuis et équipements par exemple. La valeur sociétale de l'ouvrage est la somme des valeurs de chacune de ses parties, pondérée par le coefficient C_{ISE} :

$$V_{sociétale} = C_{ISE} \times \sum_{parties} V_{partie}$$

C_{ISE} est le coefficient qui reflète l'importance stratégique du pont pour le maître d'ouvrage ainsi que la gêne occasionnée par l'interruption ou la limitation du trafic pendant des travaux.

- V_{partie} est la valeur sociétale attribuée à chacune des parties de l'ouvrage, qui se décompose ainsi :

$$V_{partie} = Coût_{partie} \times \alpha_{Etat\ partie} \times \beta_{partie}^{autre\ partie} \times \delta_{vétusté} \times \gamma_{robustesse}$$

dans cette formule :

- $Coût_{partie}$ est le coût de reconstruction à neuf de la partie de l'ouvrage; il est évalué à partir du coût total de l'ouvrage neuf, y compris le coût de la démolition de l'ouvrage. On définit le coefficient de répartition μ_{partie} qui ventile le coût global en coût par partie.

$$\mu_{partie} = \frac{Coût_{partie}}{Coût_{ouvrage}}$$

- $\alpha_{Etat\ partie}$ est un coefficient qui pondère la valeur de la partie, compte tenu de son état apparent évalué selon la méthode de surveillance appliquée par le gestionnaire; pour les ouvrages de l'Etat (ainsi que dans ce guide), la défalque est corrélée à la note IQOA de la partie d'ouvrage considérée. A terme, ce coefficient sera modulé non seulement en fonction de l'état, mais aussi de la nature et de l'étendue des désordres.

- $\beta_{partie}^{autre\ partie}$ est un coefficient qui caractérise l'influence de l'état d'une autre partie de l'ouvrage sur la partie considérée (exemple de la chape d'étanchéité qui protège le tablier, de la peinture qui protège les poutres métalliques, ...);

- $\gamma_{robustesse}$ est un coefficient qui module la valeur de la partie de l'ouvrage compte tenu de sa robustesse. Celle-ci caractérise son aptitude à faire face aux différents aléas (climatiques, évolution des trafics,...) qu'elle subit pendant sa durée de vie.

- $\delta_{vétusté}$ est le coefficient de vétusté; il est fonction de l'âge de la partie considérée de l'ouvrage et de sa durée de vie estimée qui est également fonction de la robustesse ($\gamma_{robustesse}$).

Notes :

Pour évaluer le coût de reconstruction de l'ouvrage ou de l'une de ses parties, lorsque le type d'ouvrage considéré n'est plus construit à notre époque, le calcul se fait sur la base d'un ouvrage équivalent de même dimension (voir annexe 5).

La vétusté n'est normalement pas la même pour chaque partie de l'ouvrage. En effet, certains équipements ont pu être changés depuis la construction. D'autre part, certaines parties vieillissent plus rapidement que d'autres, ont une durabilité moindre, ou sont plus ou moins exposées. Dans la pratique, , et par simplification, nous avons choisi de caractériser l'ouvrage par un coefficient de vétusté global, c'est d'affecter à chaque partie de l'ouvrage le même coefficient de vétusté.

Pour les mêmes raisons, il est proposé de faire de même pour la robustesse. Toutefois, si le gestionnaire dispose d'informations sur les piles et culées (fragilité aux chocs de poids lourds par exemple), il pourra dédoubler le coefficient de robustesse, en séparant celui appliqué au tablier et celui appliqué aux appuis. Des indications à ce sujet sont données au paragraphe 3.5 et dans l'annexe 8.

3 - Calcul des paramètres caractérisant la valeur sociétale

3.1 - Coût d'un ouvrage neuf.

Le calcul du coût de construction d'un ouvrage neuf ($Coût_{\text{ouvrage}}$) est fait à partir du coût de l'ouvrage brut ($Coût_{\text{ouvrage brut}}$)

Pour calculer le coût de l'ouvrage brut, une première approche consiste à utiliser les résultats statistiques du Sétra, en se centrant sur la valeur moyenne, ce qui lisse les cas particuliers. Ces statistiques fournissent des prix au m² de surface utile par type d'ouvrages. Pour les ouvrages qui seraient reconstruits selon un autre type de pont, on utilise le ratio du type d'ouvrage qui le remplacerait. Par exemple, un pont dalle en béton armé pourrait remplacer un ancien pont en maçonnerie.

$$Coût_{\text{ouvrage brut}} = S_{\text{tablier}} \times \text{Prix} / m^2$$

Une seconde approche consiste à établir des prix par parties d'ouvrage pour reconstituer le coût total par cumul, afin de mieux cerner la dépréciation de la partie dégradée et le coût de réparation ou de reconstruction correspondant.

$$Coût_{\text{ouvrage, brut}} = \sum Coût_{\text{parties}}$$

Les coûts des parties sont alors établis à partir de coûts unitaires issus de statistiques et à partir de paramètres simples (longueur, largeur, surface, nombre d'appuis, ...).

Dans tous les cas, ces coûts doivent être actualisés chaque année par exploitation statistique du coût des constructions ou à l'aide de l'évolution de l'index TP 02 (TP13 pour les ouvrages métalliques).

Pour estimer le coût d'un ouvrage neuf, à partir de cette valeur brute, il faut tenir compte du coût de la démolition de l'ouvrage qui peut être estimée à 10% du coût de l'ouvrage neuf pondéré par un coefficient C_{site} qui tient compte des difficultés d'exécution des travaux liées à l'importance de la brèche et à la sensibilité des zones franchies (exploitation de voies franchies, sécurité de zones habitées, protection environnementale de milieux sensibles, etc.) ;

Le coefficient C site est donné dans le tableau suivant :

Caractérisation du site (obstacle franchi ou voie portée)	Coefficient C_{site}
Voies ferrées importantes	1,25
Rivière	1,20
Autoroute	1,20
RN et RD 2x2 voies et autres voies ferrées	1,15
RN bidirectionnelles	1,10
RD et voirie secondaire	1,05
Passage faune, agricole	1,00

Il serait certainement utile de faire intervenir la hauteur de la brèche, si cette donnée est disponible dans la base de donnée du gestionnaire, mais ce n'est pas le cas ici.

Ce coût devrait aussi être modulé par la nature de la brèche franchie ou plus précisément par l'environnement de l'ouvrage (influence de la loi sur l'eau par exemple si l'on franchit une rivière).

Un exemple de détermination des coefficients C_{site} est donné en annexe 1 pour les utilisateurs du logiciel Lagora.

Ce coefficient global, dont les valeurs sont données ici, ne peut s'appliquer que si on remplace l'ouvrage en totalité. Il est différent si on fait des travaux sur les seuls équipements par exemple. Il doit donc tenir compte de la nature des travaux à effectuer.

Au final, et compte tenu des simplifications effectuées, le coût de l'ouvrage « à neuf » vaut donc :

$$Coût_{ouvrage} = S_{tablier} \times Prix/m^2 \times 1,1 \times C_{site}$$

3.2 - Coût d'une partie d'ouvrage (Coût_{partie})

Le coût d'une partie d'ouvrage C_{partie} est évalué à partir d'études statistiques.

Dans tous les cas, la part relative moyenne de chacune de ses parties peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$Coût_{partie} = \mu_{partie} \times Coût_{ouvrage}$$

3.2.1 - Décomposition forfaitaire

Par défaut, la décomposition se fait selon les équipements, le tablier et ses appuis. La part représentative de chacune des parties est définie dans le tableau suivant:

partie d'ouvrage courant	Coefficient μ_{partie}
équipement	0,10
Tablier	0,50
appuis	0,40

Pour les ouvrages à appuis intégrés (PIPO, PICF), ainsi que les buses, la décomposition est différente. On affecte 20% aux équipements et 80 % au reste de la structure, car les traverses, piédroits et murs ne sont généralement pas différenciés dans la note IQOA de synthèse de l'ouvrage.

Dans l'avenir, on pourra rechercher plus de précision en différenciant ces éléments et en tenant compte du nombre de travées). L'influence des fondations profondes devrait également être quantifiée, mais cette donnée n'existe pas dans la base de données de Lagora pour le moment.

Il serait donc utile de pouvoir calibrer ces coefficients au plus juste en exploitant la base de données du coût des ouvrages neufs du Sétra et en examinant différents dossiers d'ouvrages.

A noter que la décomposition en partie d'ouvrage doit rester en accord avec les sous-parties évaluées dans la méthode du gestionnaire (chaussée, trottoir, dispositifs de retenues, corniches, joints de chaussée, étanchéité, poutres, hourdis entretoise, appareils d'appuis, anti-corrosion, ...) afin de faciliter sa mise en œuvre.

3.2.2 - Décomposition statistique par type d'ouvrage

Types d'ouvrages examinés :

L'outil de gestion définit le type d'ouvrage selon une nomenclature qui lui est spécifique. Les ouvrages de remplacement à évaluer sont du même type, s'il correspond à un ouvrage moderne actuel, ou par un type de substitution, si le type d'origine correspond à une technique qui n'est plus utilisée aujourd'hui. Par exemple, une buse métallique ou un petit ouvrage en maçonnerie peut être remplacé par une buse en béton armé, un VIPP par un pont mixte, un pont à béquilles en BP franchissant une autoroute par un PSIDP, etc. Le problème est plus délicat pour de très grands ponts (par exemple pour les ponts à béquilles de la Truyère ou de Martigues). Cette table de correspondance est donnée en annexe 5 pour les ponts de l'Etat gérés avec l'outil Lagora.

Les ouvrages pour lesquels une analyse statistique des coûts par parties d'ouvrages a pu être réalisée sont les ouvrages courants (ponts types) et des ouvrages non courants classiques. Il s'agit d'ouvrages de type :

type	Libellé et particularités
BUSE	Buse mince en béton armé
PICF	Passage inférieur en cadre fermé
PIPO	Passage inférieur en portique ouvert
PSIDA	Passage supérieur ou inférieur en béton armé
PSIDP	Passage supérieur ou inférieur en béton précontraint
PRAD	Pont à poutres préfabriquées précontraintes par

type	Libellé et particularités
PPE	adhérence
Bipoutre	Ponts à poutrelles enrobées
Caisson mixte	Ouvrage mixte acier-béton bipoutre
Caisson	Caisson mixte acier-béton
Caisson encoorbellement	BP Caisson en béton précontraint construit par encoorbellement successif
Caisson poussé	Caisson en béton précontraint mis en place par poussage

Lorsque les ouvrages n'entrent pas dans l'une des catégories du tableau, ils doivent faire l'objet d'une évaluation forfaitaire, qui peut dans certains cas se faire en utilisant le prix au m² d'une famille approchante d'ouvrage.

Décomposition détaillée des prix :

Une étude est en cours pour évaluer le prix des différentes parties d'ouvrage selon une grille plus fine, en accord avec les sous-parties évaluées dans la méthode IQOA. Cette décomposition est la suivante :

- le tablier ;
- les appuis (y compris les appareils d'appui), en différenciant les piles et les culées;
- les fondations (il s'agit en fait d'évaluer un surcoût pour fondations profondes) ;
- les équipements en distinguant :
 - la chaussée ;
 - l'étanchéité ;
 - les joints de chaussée ;
 - les dispositifs de retenue ;
 - les corniches ;
 - les dispositifs d'évacuation d'eau ;
 - les trottoirs ;
 - les autres équipements (dispositifs anti-sismiques,...);
- les autres coûts.

Remarques :

La chaussée ne fait généralement pas partie du marché d'ouvrage

"Les autres coûts " sont les coûts qui ne sont pas explicitement associés aux parties d'ouvrage :installations de chantier, études, épreuves, remblais techniques et aux équipements spécifiques (écran acoustique, pistes d'accès, candélabres, ...).

3.3 - Influence de l'état des différentes parties d'un ouvrage (α Etat partie)

Il s'agit de caractériser la perte de valeur de l'ouvrage du fait des désordres dont la gravité est évaluée par une note. Au sein du ministère, cette note est la note IQOA. On peut affecter une note à chaque partie ou sous partie :chaussée, trottoir, dispositifs de retenues, corniches, joints de chaussée, étanchéité, poutres, hourdis entretoise, appareils d'appuis, anti-corrosion..

A titre d'exemple, nous proposons le tableau suivant qui donne le coefficient $\alpha_{\text{Etat partie}}$ à appliquer à chaque partie de l'ouvrage pour un gestionnaire qui utilise la méthode IQOA.

Cotation de la partie d'ouvrage	Valeur du coefficient Indice d'état	Cotation des équipements	Valeur du coefficient Indice d'état
3U	0,50	2E	0,50
3	0,70	2	0,90
2 ^E	0,85	1	1,00
2	0,95		
1	1,00		

Il pourrait aussi être envisagé de tenir compte du nombre d'années où l'ouvrage est coté à son niveau de dégradation.. Le coefficient sera alors décrétement en fonction du nombre d'année ou le pont à reçu sa dernière cotation.

Lorsque l'on tient compte d'un décrétement par année de cotation, la valeur de décrétement doit être bornée par la valeur correspondant à la cotation « supérieure ». Par exemple, la valeur d'une partie d'ouvrage cotée 2^E ne peut être inférieure à 0,70 (valeur correspondante à une cotation 3), quel que soit le nombre d'années de cotation en 2^E.

Pour tenir compte de ce phénomène, nous proposons les tableaux suivants :

Tableau relatif au tablier et aux appuis :

Cotation de la partie d'ouvrage	Valeur du coefficient Indice d'état	Décrétement par année de cotation	Commentaire
3U	0,50	-0,050	Un pont 3U, ne devrait pas le rester plus de 3 ou 4 ans, période destinée à effectuer un diagnostic, un projet de réparation et les travaux de confortement ; la valeur élevée du décrétement reflète la précarité de la situation 3U
3	0,70	-0,015	Un pont non entretenu met environ 15 ans pour passer de l'état 3 à 3u
2 ^E	0,85	-0,010	Un pont classé 2 ^E passe en classe 3 en 15 ans
2	0,95	-0,010	Un pont passe de la classe 2 à 2 ^E en 9 ans environ
1	1,00	-0,005	Un pont passe de la classe 1 à 2 en 9 ans environ

Tableau relatif aux équipements :

Cotation des équipements	Valeur du coefficient Indice d'état	Décrétement par année de cotation 2 ^E	Commentaires
2 ^E	0,50	-0,04	Les équipements sont en principe à renouveler selon une périodicité qui dépend de leur nature.
2	0,90	-0,03	Un équipement passe de 2 à 2 ^E en 15 ans
1	1,00	-0,02	Un équipement passe de 1 à 2 en 6ans environ

Notes :

-
- dans la pratique, on connaît rarement le nombre d'années pendant lesquelles l'ouvrage a reçu une cotation donnée car les visites sont espacées de 3 ans
- il faudrait pouvoir distinguer les différents équipements. Certains ont une valeur importante, d'autres pas.

3.4 - Prise en compte de la robustesse de l'ouvrage ($\gamma_{\text{robustesse}}$)

Il s'agit de traduire le fait que certains types de pont sont plus ou moins sensibles aux aléas du fait de leur conception, des matériaux utilisés ou de l'époque de leur construction. Certains ouvrages ont donc une valeur sociétale plus ou moins forte du fait que leur robustesse et donc leur durée de vie potentielle est plus ou moins grande.

Le calcul de la valeur sociétale fait intervenir la robustesse de chacune des parties de l'ouvrage. Dans l'état de nos connaissances, et compte tenu des données disponibles, il n'a pas été possible de caractériser toutes les parties d'un pont. Nous avons donc adopté ici un coefficient global valable pour l'ensemble des parties de l'ouvrage.

Compte tenu de cette approximation, le tableau donné en annexe 3 définit par type de pont le coefficient de robustesse $\gamma_{\text{robustesse}}$ qui varie de 0,5 à 2,5.

Si le gestionnaire dispose d'informations sur les piles et culées (fragilité aux chocs de poids lourds par exemple), il pourra dédoubler le coefficient de robustesse, en séparant celui appliqué au tablier et celui appliqué aux appuis. Des indications à ce sujet sont données dans l'annexe 8.

3.5 - Défalque pour vétusté globale ($\delta_{\text{vétusté}}$)

Il s'agit d'un facteur qui traduit la dégradation progressive des structures du fait de l'altération générale des matériaux, des effets de la fatigue liés au trafic, de la mauvaise adéquation progressive de l'ouvrage aux charges routières suite à l'augmentation progressive des charges des poids lourds, de l'impossibilité d'implanter des dispositifs de sécurité modernes.

Comme indiqué en introduction, le coefficient de vétusté s'applique normalement par partie d'ouvrage. Les équipements par exemple sont à distinguer de la structure, car ils n'ont pas la même durée de vie et sont généralement remplaçables. Toutefois, là encore, la prise en compte d'une vétusté par partie n'a pas été possible à ce stade, car elle suppose une gestion très fine des ouvrages, en conservant l'historique de l'ensemble des interventions pratiquées sur ses différentes parties. C'est pourquoi nous ne traiterons ici que le cas d'un coefficient de vétusté global pour l'ensemble de l'ouvrage.

On considère donc que :

- 1 - chaque famille d'ouvrage a une durée de vie de référence T_{ref} que l'on peut estimer à l'aide du tableau donné en annexe 7.
- 2 - l'ouvrage vieillit de manière quasi-linéaire au fil du temps et qu'au bout de sa durée de vie de référence, l'ouvrage a une valeur sociétale résiduelle qui n'est pas nulle, mais qui vaut la moitié de celle d'un ouvrage neuf, s'il est par ailleurs en bon état.

Le coefficient de vétusté $\delta_{\text{vétusté}}$ s'exprime donc par :

$$\delta_{\text{vétusté}} = \text{Max} [(1 - 0,5 T/T_{\text{ref}}) ; 0,5]$$

En réalité, la vétusté d'une structure n'est pas tout à fait linéaire, mais s'accélère avec le temps. On peut donc, si on le souhaite, raffiner la méthode en adoptant une loi non linéaire. Par exemple, pour un ouvrage qui appartient à une famille dont la durée de vie statistique est de 100 ans on aurait :

Age de l'ouvrage en années	Valeur du coefficient de vétusté de la structure	
	Loi linéaire	Loi non linéaire
100	0,50	0,50
50	0,75	0,875
10	0,95	0,995
0	1,00	1,00

On considère en règle générale que T_{ref} peut être obtenu par la formule suivante :

$$T_{\text{ref}} = 100 \times \gamma_{\text{robustesse}}$$

Cette durée de vie a pu être calibrée par une étude du Sétra pour certains types d'ouvrage et calée "à dire d'experts" du RST. (voir Annexe 7). Nous proposons donc de retenir ces dernières valeurs lorsqu'elles existent.

L'âge de l'ouvrage est généralement calculé à partir de sa date de construction. Après une réparation lourde ou une réfection totale, on peut considérer que la durée de vie de l'ouvrage est prolongée.. En d'autres termes, celui-ci pourra être "rajeuni" d'une quantité à estimer par le gestionnaire, avec les conseils du maître d'œuvre qui a été chargé des travaux, ou du comité d'expertise qui a porté le diagnostic avant réparation.

Il est difficile d'évaluer la durée de vie après une réparation et en l'absence d'étude particulière, nous proposons d'augmenter T_{ref} d'une durée de 30 ans.

3.6 - Coefficient d'influence entre les parties (β_{partie})

Ce coefficient traduit la propagation d'un désordre d'une partie d'ouvrage sur d'autres parties. Cela concerne l'effet de dégradation des appareils d'appuis, des appuis, des équipements sur les autres parties, notamment le tablier et les appuis. Par exemple, un défaut d'étanchéité va provoquer une dégradation du tablier qu'elle est censée protéger.

- **Pour l'étanchéité**, on retient la règle suivante lorsqu'elle est classée 2^E selon la méthodologie IQOA ou méthode équivalente :

Pour un pont en béton précontraint, à platelage orthotrope ou un pont en maçonnerie :

$$\beta_{tablier}^{e\ tan\ cheite} = \text{Max} [1 - 0,025 \times \text{nombre d'années où la chape est classée } 2^E ; 0,5]$$

Pour un pont en béton armé ou un pont mixte :

$$\beta_{tablier}^{e\ tan\ cheite} = \text{Max} [1 - 0,0125 \times \text{nombre d'années où la chape est classée } 2^E ; 0,5]$$

- Pour le recueil des eaux, on retiendra la même règle que pour l'étanchéité, lorsque les défauts conduisent à des infiltrations d'eau sur certaines parties de l'ouvrage; les défauts sur les corniches caniveaux, mais également les joints de chaussée, peuvent être concernés.

- **Pour les appareils d'appuis** on retient la règle suivante lorsqu'ils sont classés 3U selon la méthodologie IQOA ou méthode équivalente :

Pour un pont sensible à des tassements d'appuis (pont caisson en béton précontraint rigide en torsion, pont en arc, ...) :

$$\beta_{tablier}^{appareil - appui} = 1 - 0,02 \times \text{nombre d'années où les appareils d'appuis sont classés 3U}$$

- **pour des appuis menacés par des affouillements**, les valeurs du tablier et des équipements sont affectées, quel que soit le type de structure.

On propose le décrement : $1 - 0,025 \times \text{nombre d'années où les affouillements sont constatés}$.

- **pour les dispositifs latéraux obsolètes mais non déficients**, il n'y a pas d'impact sur la valeur résiduelle des autres parties d'ouvrage. Par ailleurs, il conviendrait d'apprécier la majoration du risque par rapport à un dispositif adapté, laquelle est fonction du trafic et de l'indice de danger. Ce point n'est pas pris en compte dans cette méthode de gestion.

Plus généralement, cette méthode n'intègre pas dans sa version actuelle les travaux de "remise aux normes", qu'il s'agisse de capacité portante, de protection de l'environnement (en particulier le recueil des eaux) ou de sécurité routière.

- **pour des peintures de protection faites sur le béton et le métal**, on pourrait considérer que l'ouvrage bénéficie d'une nouvelle loi de vétusté.

Mais en l'état actuel, ces nouvelles lois n'ont pas encore pu être établies.

- **pour les ouvrages ayant subi un rechargement de chaussée** qui diminue la marge sur la capacité portante ; un abattement pourrait être pratiqué :

Là encore, l'influence de ce facteur n'a pas pu encore être testé.

A noter que tous ces raffinements nécessitent de disposer d'une base de gestion des ouvrages très complète. Par exemple, il faudrait des données sur l'âge des différentes parties d'ouvrage (remplacement, traitement, ...), ce qui est rarement le cas. Les tests que nous avons effectués, l'ont été avec des paramètres simplifiés (voir Annexe 9)

Lorsque les équipements sont évalués globalement, nous proposons de retenir le coefficient d'influence le plus faible.

3.7 - Coefficient d'importance socio-économique de l'ouvrage (C_{ISE})

3.7.1 - Principes généraux

On considère que l'importance socio-économique de l'ouvrage, son utilité sociale notamment, conduit à lui conférer une valeur sociétale supérieure à son coût d'achat. Pour tenir compte de ce facteur, on pondère le coût d'achat d'un coefficient C_{ISE} dont la valeur est supérieure à 1.

Ce coefficient doit en principe être déterminé par une analyse de la valeur sur les coûts directs (exploitation) mais aussi indirects (pollution, embouteillage, temps perdu...) induits par la fermeture de l'ouvrage pour la voie portée voire pour la voie franchie.

Il doit également évaluer les risques d'une ruine soudaine de l'ouvrage ou les conséquences d'éventuels désordres sur le niveau de service.

Pour les ponts du Réseau Routier National, il a été retenu une méthode simplifiée d'évaluation de l'importance stratégique des ouvrages qui repose essentiellement sur les critères socio-économiques suivants :

Critère A : mesure de l'importance stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage

Critère B : mesure du trafic de la voie portée

Critère C : mesure de la dimension du franchissement

Critère D : mesure des conséquences d'une réduction du niveau de service.

Les conséquences humaines d'une ruine de l'ouvrage sont mesurées par le biais de l'importance du trafic (critère B) et de la surface du tablier (critère C).

Pour calculer le coefficient C_{ISE} , on évalue d'abord un coefficient intermédiaire K_{ISE} qui est une combinaison linéaire des valeurs attribuées aux 4 critères A, B, C et D. Pour le réseau national, nous proposons les pondérations suivantes :

$$K_{ISE} = \alpha A + \beta B + \gamma C + \delta D$$

avec $\alpha = 0,35$ $\beta = 0,30$ $\gamma = 0,15$ et $\delta = 0,20$

Les valeurs de A, B, C et D sont détaillées dans les paragraphes suivants. Le maximum possible est

$$K_{ISE,max} = \alpha 5 + \beta 5 + \gamma 5 + \delta 5 = 5$$

Le coefficient d'importance stratégique C_{ISE} est égal à $\sqrt{K_{ISE}}$. Il est borné à 1 à $\sqrt{5}$.

Comme indiqué plus haut, la méthode proposée est adaptée aux ouvrages du réseau routier national qui se situent tous sur des axes routiers ou autoroutiers structurants. Pour d'autres patrimoines, le maître d'ouvrage pourra choisir d'autres pondérations, voire même, d'autres critères.

3.7.2 - Importance des voies portée et franchie de l'ouvrage

Le premier critère (A) représente l'importance stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage.

La valeur de A dépend de 3 facteurs :

- l'importance de la voie ;
- les réseaux présents sur l'ouvrage;
- la "charge limite" supportée par le pont.

L'importance de la voie est déterminée en fonction de la hiérarchisation du réseau routier national qui conduit à distinguer :

- les itinéraires très stratégiques (A =4),
- les itinéraires stratégiques (A =3),
- les itinéraires d'importance normale (A =2)
- les itinéraires de faible importance stratégique (A =1).

Afin de faciliter le travail du gestionnaire, cette importance stratégique peut être déduite des types de voies de façon automatique. Ainsi, chaque voie (RN113 par exemple), possède une importance stratégique par défaut, en fonction de son type (voir le tableau donné en annexe 1). Le gestionnaire peut ensuite modifier lui-même certaines valeurs afin de tenir compte des particularités locales ou de l'importance stratégique d'un tronçon particulier (identifiés par les Points Repères).

L'importance stratégique de l'itinéraire, du tronçon d'itinéraire ou de l'ouvrage, peut être augmentée pour tenir compte de l'environnement proche de l'ouvrage, et des conséquences de sa ruine.

Nous proposons d'augmenter la valeur de A d'un point dans le cas où l'ouvrage présente des enjeux stratégiques particuliers. Il s'agit :

- d'un ouvrage supportant des réseaux importants
- d'un ouvrage franchissement une ligne ferrée électrifiée ou une autoroute
- d'un ouvrage pouvant supporter des charges lourdes (convois exceptionnels de type C ou militaires de type M120 ou supérieurs),
- d'un ouvrage franchissant une voie navigable ou une rivière importante (>30m)
- d'un ouvrage intégré à un échangeur routier stratégique

Nous proposons d'augmenter la valeur de A de deux points dans le cas où l'ouvrage présente des enjeux stratégiques exceptionnels. A titre d'exemple, il s'agit :

- d'un ouvrage assurant le franchissement d'une ligne TGV
- d'un ouvrage devant supporter des charges très lourdes (convois exceptionnels de type E)
- d'un ouvrage franchissant un obstacle naturel majeur (rivière de plus de 100 mètres de large) un site industriel ou habité
- d'un ouvrage franchissant une voie navigable de classe VI et VII

La valeur de A obtenue par ces considérations est plafonnée à 5 (voir paragraphe 3.7.6 -).

3.7.3 - Niveau de trafic

Le deuxième critère (B) caractérise le volume du trafic routier total supporté par l'ouvrage ou par la voie franchie, où quatre seuils de trafic ont été considérés : 80kv, 60kv, 35kv et 15kv. La valeur de B a été calibrée pour tenir compte de la distribution du trafic par tronçons d'itinéraires.

Trafic journalier moyen en KV (milliers de véhicules)	TMJA > 80	60<TMJA< 80	35<TMJA< 60	15<TMJA< 35	TMJA <1 5
B =	5	4	3	2	1

3.7.4 - Importance du franchissement

Ce troisième critère © témoigne de l'importance du franchissement dans un itinéraire, estimée à partir de sa surface utile. Cette valeur tient compte de l'importance des coûts de reconstruction ou de réparation pour garantir un niveau de service identique à celui de l'ensemble du patrimoine national. Un grand franchissement est plus difficile à gérer, à entretenir et à réparer qu'un petit.

On pourra s'inspirer du tableau suivant qui tient compte de la surface utile de l'ouvrage.

Surface utile tablier(m ²)	S > 5000	2000 < S < 5000	1000 < S < 2000	500 < S < 1000	S < 500
C =	5	4	3	2	1

Le calibrage des valeurs de ce tableau a été obtenu en tenant compte de la distribution des ponts du patrimoine national.

On pourra moduler ce tableau d'un ou deux points lorsqu'un ouvrage représente un intérêt particulier, par exemple sur le plan historique.

3.7.5 - Conséquences sur le niveau de service

Ce quatrième critère (D) caractérise l'impact sur le niveau de service pendant la réalisation de travaux de grosses réparations ou lors du remplacement de l'ouvrage. Il donne également une estimation de l'impact induit par une réduction de la capacité portante ou de la limitation des trafics autorisés sur un ouvrage.

Dans cette configuration, on considère que tout ou partie du trafic est reporté sur un itinéraire de déviation s'il s'agit d'un franchissement à tablier unique, ou basculé sur le tablier parallèle s'il s'agit d'un franchissement à tabliers séparés.

Dans le premier cas, pour un axe routier important, il est peu probable que l'itinéraire de substitution permette une déviation sans conséquences manifestes sur le trafic (allongement de parcours, gêne) et sur l'activité économique (commerces). Les axes routiers importants du réseau national sont souvent des routes bidirectionnelles structurantes, faisant partie d'itinéraires de passages de transports exceptionnels.

La conservation de l'ouvrage revêt alors une importance stratégique. C'est au gestionnaire d'apprécier les possibilités existantes de déviation et d'évaluer les conséquences de sa fermeture. Par défaut, pour un axe du réseau routier national, elles sont considérées comme fortes (D=4) ; mais le gestionnaire pourra moduler la valeur de ce critère s'il juge les conséquences comme très fortes (D=5) ou moins fortes (D=1 à 3).

Tablier unique	Conséquences très fortes	Conséquences fortes	Conséquences faibles à peu fortes
D	5	4	1 à 3

Dans le second cas, il convient d'examiner les possibilités de basculement de circulation sur l'autre tablier du franchissement. Pour ce faire, nous faisons référence à la circulaire du 29 août 1991 relative au profil en travers des OA. Selon la largeur roulable du tablier sur lequel est effectué le basculement de circulation, le profil en travers réduit peut être de :

- 2 + 2 voies pour une largeur roulable supérieure à 14 mètres,
- 2 + 1 voies pour une largeur roulable comprise entre 11 et 14 mètres,
- 1 + 1 voies pour une largeur roulable inférieure à 11 mètres.

Dans ce cas, le critère D tient compte de la capacité d'écoulement du trafic selon le profil en travers réduit que l'on peut envisager, et varie de 1 à 3.

Tabliers séparés	Largeur roulable (LR) et trafic (T) en milliers de véhicules/jour								
	LR>14m			11m<LR<14m			LR<11m		
	T>60	35<T<60	T<35	T>35	20<T<35	T<35	T>20	10<T<20	T<10
D	3	2	1	3	2	1	3	2	1

Le gestionnaire peut augmenter la valeur du critère D à 4 voire 5, s'il estime que les conséquences d'un basculement de circulation sont peu acceptables voire inacceptables, par exemple dans les cas suivants :

- autoroutes urbaines ou péri-urbaines,
- autoroutes inter-urbaines de trafic important,
- impossibilité de procéder à un basculement de circulation (proximité d'un échangeur, ouvrage intégré à un échangeur, absence d'interruption de TPC proche de l'ouvrage, voies de circulation dénivelées, ...),
- impossibilité d'augmenter le niveau de service du tablier sur lequel s'opère le basculement (état dégradé de l'ouvrage, BAU non adaptées à un trafic lourd en section courante, ...).

La valeur de D peut être augmentée d'un ou 2 points lorsque l'ouvrage franchit une voie de communication très importante (par exemple une autoroute ou une voie ferrée principale).

3.7.6 - Résumé pour le calcul du coefficient C_{ISE}

Afin de faciliter le calcul du coefficient d'importance stratégique K_{ISE} qui vaut $0,35 A + 0,3 B + 0,15 C + 0,2 D$, nous proposons les valeurs suivantes :

Coefficient A	Itinéraire			
	Très stratégique	Stratégique	Importance stratégique normale	Faible importance stratégique
Cas courant ⁽¹⁾	4	3	2	1
Impact particulier pour l'ouvrage ⁽²⁾	5	4	3	2
⁽¹⁾ Voir tableau des types de voies				
⁽²⁾ Voir enjeux stratégiques particuliers				

Trafic journalier moyen en milliers de véhicules/jour	TMJA > 80	60 < TMJA < 80	35 < TMJA < 60	15 < TMJA < 35	TMJA < 15
Valeur de B	5	4	3	2	1

Surface utile tablier en m ²	S > 5000	2000 < S < 5000	1000 < S < 2000	500 < S < 1000	S < 500
Valeur de C	5	4	3	2	1

Valeur de D : conséquences des travaux sur le niveau de service	
Voie franchie importante	établie par le gestionnaire et l'exploitant, entre 1 et 3
Voie franchie très importante	+1 ou +2 pour les voies franchies très importantes

Le coefficient d'importance stratégique C_{ISE} est alors égal à $\sqrt{K_{ISE}}$. Il peut donc varier de 1 à 2,2.

4 - Évaluation du coût des travaux

Pour pouvoir calculer la rentabilité d'une opération de remise à niveau d'un ouvrage, il faut pouvoir évaluer le coût des travaux permettant à une ou plusieurs sous-parties de retrouver un état satisfaisant. Pour les ouvrages de l'État, on utilise les notes des sous-parties de l'ouvrage tel qu'il est décomposé dans le logiciel Lagora. On considère que l'indice d'état de la sous-partie revient en général à 2).

Les coûts de réparation des différentes parties peuvent être estimés en première approche à partir de la base « prix de réparation de « 1996 » du Sétra et de métrés sommaires obtenus par les informations de la base Lagora. (surface, largeur, nombre d'appuis,...). La base du Sétra donne malheureusement une indication très globale du coût et non des coûts unitaires.

Les éléments disponibles dans les bases de données des gestionnaires sont en général :

- les typologies d'ouvrages et matériaux associés,
- la date de construction (ou période) et les charges de dimensionnement,
- les grandes caractéristiques géométriques des ouvrages (nombre de travées, surface, ...)

Ces données peuvent en général permettre de bâtir une base de coût sur la base de métrés simples (largeur totale, largeur utile) associés à un type de structure et un matériau. Par exemple, en fonction de la longueur d'un ouvrage continu, il est possible de déterminer les types de ses joints de chaussée. Il convient donc de définir des macro-prix en fonction de ces différentes possibilités. Ces macro-prix devant être élaborés à partir d'un détail estimatif type pour ouvrage neuf et adapté aux travaux de réparation. Notamment, afin d'être facilement exploitables, ils doivent intégrer tous les frais

« secondaires » liés aux études, aux installations de chantier, à la signalisation, ... Cette prise en compte étant faite par le biais de coefficients majorateurs sur le coût des travaux estimés. Chaque macro-prix devant donc être élaboré avec une hypothèse constitutive de base par exemple, dans le cas de l'élargissement d'une structure en maçonnerie :

Élargissements de structures	Unité	Prix unitaire	Hypothèse de calcul
Pont en maçonnerie par dalle générale BA	M ² de tablier	910 € HT	Décaissement 0,50m + BA 40cm + 200kg/m ³ + coffrage + corniche + garde-corps+ étanchéité + enrobé + trottoirs + 25 % de majoration pour les abouts

Le calcul doit être fait pour chaque partie que l'on souhaite réparer, et le coût de réparation d'une partie doit être pondéré par un coefficient :

$$Coût_{Travaux} = \sum_{partie} Coût_{partie} \cdot C_{exploitation, partie}$$

$C_{exploitation, partie}$ doit permettre de prendre en compte les sur coûts d'exploitation liés aux travaux, par partie d'ouvrage. Pour les travaux sur les appuis, il s'agit d'un surcoût lié également aux voies franchies (voir § 3.7.2 -).

Si l'on fait des travaux sur une portion d'itinéraire, le surcoût d'exploitation doit pouvoir être distribué entre tous les ouvrages concernés, ou alternativement appliqué en totalité à l'ouvrage le plus important.

La pertinence de l'estimation du coût des réparation est l'élément clé de la méthode. Les écueils des méthodes les plus sophistiquées sont d'exiger des études de réparation. Une méthode alternative consiste à travailler à partir de métrés succincts et de scénarios type de réparation. A titre d'exemple, une analyse des risques a été appliquée aux VIPP du réseau routier national. Cette étude comprend successivement, une analyse des aléas, une analyse de la vulnérabilité de l'ouvrage aux aléas. Elle a conduit à une classification de ces ouvrages en trois classes risque qui permettent d'établir une hiérarchisation des ouvrages dans l'optique d'attribuer au mieux les moyens humains et financiers. Pour établir une estimation du coût des travaux de mise à niveau de ces ouvrages, nous avons retenu d'utiliser les notes de vulnérabilité, qui reflètent l'aptitude des ouvrages et l'adéquation de leur dimensionnement au trafic routier actuel. Nous proposons alors de répartir les ouvrages suivant 4 scénarios représentatifs :

- scénario 1 : les ouvrages ne nécessitant pas de travaux (ouvrages « très peu vulnérables »)
- scénario 2 : les ouvrages pouvant être mis à niveau à partir d'une réparation « légère » effectuée à l'aide de fibre de carbone (ouvrages « peu vulnérables » et « corrects »), en distinguant le renforcement vis à vis de la flexion de celui vis à vis de l'effort tranchant
- scénario 3 : les ouvrages devant être mis à niveau à l'aide d'une réparation « lourde » effectuée à l'aide d'ajout de précontrainte extérieure (ouvrages « vulnérables »)
- scénario 4 : les ouvrages ne pouvant être mis à niveau et qui doivent être reconstruits (ouvrages « très vulnérables »)

Pour chacun des scénarios conduisant à une mise à niveau de l'ouvrage, l'estimation du coût des travaux est basée sur le coût réel constaté sur des ouvrages de référence pour lesquels la réparation du scénario a été réalisée.

Cette démarche est en cours de généralisation par les PCI « gestion patrimoniale des ouvrages d'art » aux différents types d'ouvrage.

4.1 - Évaluation du surcoût lié à l'exploitation

Il s'agit d'évaluer les surcoûts d'exploitation liés aux travaux. Ils dépendent de l'importance des voies portées (voir tableau des types de voies au § 3.7.2 -), de l'importance des voies franchies, de la présence ou non de deux tabliers parallèles, de la taille du pont, en effet, la part des frais fixes est plus importante pour un petit ouvrage.

Ce surcoût s'écrit sous la forme : $C_{\text{exploitation}} = C_{1 \text{ exploitation}} \times C_{2 \text{ exploitation}}$

$C_{1 \text{ exploitation}}$ prend en compte l'importance de la voie portée et $C_{2 \text{ exploitation}}$ prend en compte les contraintes apportées par la voie franchie.

4.1.1 - Valeur du coefficient d'importance de la voie portée $C_{1 \text{ exploitation}}$

a) pour les grosses réparations (classes 3 et 3U par exemple pour IQOA)

Voie portée	$C_{1 \text{ exploitation}}$	
	Tablier unique	Tabliers indépendants
Autoroute	1,40	1,40
RN 2x2	1,30	1,30
RN	1,25	1,00
RD	1,20	1,00

Sur un tablier unique, on considère que les travaux nécessitent la coupure totale de circulation et la mise en place d'une déviation, car un alternat de circulation n'est pas envisageable sur une longue période (grosses réparations).

b) pour les grosses opérations d'entretien spécialisé

Ces coefficients sont à appliquer, en particulier, lorsque les chapes d'étanchéité ou les dispositifs de retenue sont défailants.

Voie portée	$C_{1 \text{ exploitation}}$	
	Tablier unique	Tabliers indépendants
Autoroute	1,15	1,15
RN 2x2	1,15	1,15
RN	1,25	1,00
RD	1,20	1,00

On considère dans tous les cas que les travaux peuvent se faire avec une circulation réduite sur l'ouvrage, sous la forme de neutralisation de voies, de basculement ou d'alternat de circulation. Sur les autoroutes et routes nationales à 2 fois 2 voies, on considère que les mesures d'exploitation par basculement de circulation sont moins coûteuses lorsqu'elles s'appliquent sur une courte période (entretien spécialisé) que sur une longue période (grosses réparations)

c) pour les petites réparations et opérations d'entretien spécialisé ayant une forte incidence sur l'exploitation des voies portées (remplacement de joints de chaussées)

Ces coefficients sont à appliquer notamment lorsque les joints de chaussée sont en mauvais état.

Voie portée	$C_{1 \text{ exploitation}}$
Autoroute	1,40
RN 2x2	1,40
RN	1,30
RD	1,20

On considère dans ce cas que les travaux nécessitent des mesures d'exploitation coûteuses en regard du montant des travaux de réparation ou d'entretien spécialisé.

4.1.2 - Valeur du coefficient d'importance de la voie franchie C_2

Nous proposons de retenir les valeurs suivantes pour prendre en compte les contraintes apportées par la voie franchie, lorsque les travaux l'impactent. Ceci sera le cas pour des travaux sur le tablier ou les appuis, mais pas pour des travaux comme la réfection de l'étanchéité ou des équipements.

Voie franchie	C_2 exploitation
Voies ferrées importantes	1,25
Rivière	1,20
Autoroute	1,20
RN et RD 2x2 voies et autres voies ferrées	1,15
RN bidirectionnelles	1,10
RD et voirie secondaire	1,05
Passage faune, agricole	1,00

Le coefficient $C_{\text{exploitation}} = C_1 \text{ exploitation} \times C_2 \text{ exploitation}$ est à prendre en compte pour l'évaluation des travaux d'entretien ou de réparation.

Note :

- Il s'agit des frais réels engagés par les gestionnaires pour l'interruption du trafic sur la voie portée ou la voie franchie, en intégrant les frais directs et indirects (travaux faits en régie)
- Le gestionnaire devra moduler ce coefficient en fonction de différents paramètres importants : LGV ou non, lignes électrifiées ou non, ouvrages au-dessus d'une gare, etc.

5 - Critère de gestion et indicateurs de l'état intrinsèque du patrimoine

La méthode n'a pas pour objectif de se substituer au gestionnaire qui a une connaissance fine de son patrimoine. Informatisée et couplée à un logiciel de gestion ou à la base de données du gestionnaire, elle constitue un outil d'aide qui lui permet d'évaluer rapidement les coûts de remise à niveau total ou partiel de son patrimoine, de calculer la rentabilité des investissements, de hiérarchiser les priorités en travaux préventifs ou curatifs, et de cibler les parties d'ouvrage les plus détériorées.

Cette méthode nécessite d'avoir une base de gestion de son patrimoine suffisamment fournie et de calibrer les coefficients utilisés dans les calculs. Ce travail préalable est l'investissement nécessaire pour utiliser cette méthode. Ce travail a été fait pour le patrimoine de l'État. Son utilisation demande aussi une automatisation du traitement des données, si l'on souhaite comparer différents scénarios de remise en état du patrimoine ; par exemple comparer la remise à niveau d'ouvrages complets avec celle des parties d'ouvrage les plus mal cotées.

Outre la rentabilité des opérations de maintenance et de travaux, déjà citée en introduction à ce document, cette méthode permet de définir un certain nombre d'indicateurs de l'état du patrimoine qui sont décrits dans les paragraphes suivants.

5.1 - Indicateurs de suivi de l'état de l'ouvrage

Il est difficile de savoir si aujourd'hui les classes IQOA sont des classes de désordres homogènes en gravité et donc de les relier à une perte de valeur moyenne. Les indicateurs de suivi de l'état des parties d'ouvrage ne sont souvent pas assez précis dans les bases de données actuelles pour permettre le calibrage statistique des lois d'évolutions de ces états. Ceci est normal, car les préoccupations quotidiennes du gestionnaire sont différentes de ceux qui cherchent à établir ces lois. Si l'on veut progresser dans ce domaine, il est donc indispensable de compléter les bases actuelles par de nouveaux paramètres.

Il serait souhaitable d'intégrer à terme les résultats de bilans de santé menés avec des méthodes de contrôles non destructifs avancées (inspections ciblées), de relever de manière périodique par photographie l'état des zones critiques des ouvrages, de consigner les travaux d'entretien ou de réparation entrepris et leurs coûts à l'aide de fiches d'intervention ou de plans de récolements, de faire

à l'occasion des IDP un métré succinct des défauts, pour établir de manière fiable leur évolution et calculer automatiquement un coût de remise à niveau.

L'Etat a pris conscience de ce besoin, et met en œuvre des relevés informatisés de données ainsi que des méthodes de transmission et de stockage automatiques qui devraient à terme permettre une gestion plus fine de son patrimoine.

5.2 - Indicateur économique de l'état moyen du patrimoine

L'objectif est de proposer quelques indicateurs pertinents de dialogue entre le gestionnaire et son maître d'ouvrage afin de déterminer la politique générale à conduire et l'effort financier à consentir à court ou moyen terme pour maintenir son patrimoine ou en améliorer l'état.

Nous proposons ci dessous trois critères , qui peuvent être appliqués à la population totale du parc d'ouvrage ou bien par familles nécessitant des traitements particuliers.

5.2.1 - Critère de non vétusté générale

On définit :

La valeur sociétale actuelle du parc d'ouvrage ($V_{\text{sociétale actuelle}}$), qui est obtenue en faisant la somme des valeurs sociétales des ouvrages qui le composent.

La valeur sociétale à neuf du parc ($V_{\text{sociétale à neuf}}$) qui est la somme des valeurs sociétales de chaque pont, calculées en considérant qu'il vient d'être remplacé par un ouvrage neuf équivalent (sans vétusté, $\delta_{\text{vétusté}}=1$, et sans dégradation, $\alpha_{\text{Etat partie}}=1$). Dans ce calcul, on considère que la structure bénéficie de la robustesse de son type d'ouvrage de remplacement qui devrait être largement supérieure à la robustesse de l'ancien ouvrage.

Le critère de non vétusté générale est vérifié si :

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale à neuf}}} > 0,5$$

nouvelle proposition calibrée sur un patrimoine de 50 ans avec 1% de 3U, 15% de 3,30% de 2^E, 54% de 2

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale à neuf}}} > 0,65$$

Ce critère devra être apprécié aussi pour l'ensemble des tabliers, hors appuis et superstructures.

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale à neuf}}} > 0,65$$

5.2.2 - Critère de bon entretien

On définit la valeur sociétale d'un patrimoine parfaitement entretenu ($V_{\text{sociétale OA entretenus}}$) comme la somme des valeurs sociétales de chaque ouvrage en considérant que chacune de ses parties est en bon état (α_{partie} égale à 2 dans le référentiel IQOA). Cette valeur sert de référence pour évaluer l'effort à faire en matière de remise à niveau des ouvrages par un entretien régulier.

Le critère de bon entretien s'exprime par :

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale OA entretenus}}} > 0,8$$

nouvelle proposition calibrée sur un patrimoine de 50 ans avec 1% de 3U, 15% de 3,30% de 2^E, 54% de 2

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale OA entretenus}}} > 0,85$$

Ce critère devra être apprécié tant pour l'ensemble des tabliers, hors appuis et superstructures.

A noter qu'il n'est ni possible, ni même souhaitable, d'obtenir la valeur 1 pour cet indicateur.

5.2.3 - Critère sur l'homogénéité du patrimoine

Il s'agit de s'assurer que tous les ouvrages d'âge et de typologie différents sont traités de façon relativement homogène par le gestionnaire. On calcule, à cet effet, les valeurs sociétales par tranches d'âge (par exemple [0-50], [50-100]) ou par typologie (par exemple, les ponts BA, les ponts BP, les ponts Métal).

Pour chaque période et typologie, on doit alors vérifier que l'un des critères suivants est vérifié :

$$\frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale à neuf}}} > 0,4 \quad \text{ou} \quad \frac{V_{\text{Sociétale actuelle}}}{V_{\text{Sociétale OA entretenus}}} > 0,7$$

nouvelles valeurs: 0,5 et 0,75

Ce critère devra être apprécié tant pour l'ensemble des tabliers, l'ensemble des appuis.

5.3 - Coût de remise à niveau du patrimoine

Le coût de remise à niveau d'un patrimoine est l'effort financier permettant de réaliser des travaux qui ramènent l'ensemble des ouvrages dans un état jugé satisfaisant en matière de niveau de service. Dans ce calcul, le niveau de service à restaurer est celui qui était prévu lors de la construction de l'ouvrage. Ce coût ne comprend donc pas les améliorations souhaitées et, d'autre part, l'état des ouvrages à obtenir n'est pas l'état neuf, mais un état satisfaisant de la structure, ne présentant pas de défaut ou désordres graves.

Si l'on veut se référer par exemple à la méthode IQOA, la remise à niveau intervient pour les ouvrages classés 2^E, 3 ou 3U, en visant à revenir à une note de 2.. Le patrimoine idéal en terme d'état ne comporte donc que des ouvrages classés 1 ou 2, ce qui ne signifie pas que ce soit l'objectif à viser à tout prix d'un point de vue financier, notamment pour les ouvrages classés 2^E. Toutefois, le calcul du coût de remise à niveau étendu à tous les ouvrages donne une indication sur le budget à prévoir pour remettre en état son patrimoine.

5.4 - Stratégies de gestion du patrimoine

5.4.1 - Stratégie de remise à niveau du patrimoine

La programmation des travaux doit permettre en dix ans de revenir aux critères de bonne gestion définis aux paragraphes précédents.

Une étude menée par le Sétra et le LCPC (étude "Volet B de la Justification au Premier Euro") avait montré que les crédits alors alloués à l'entretien du patrimoine de l'État permettaient de maintenir pendant quelques années un état moyen constant, en se basant sur l'évolution des cotations IQOA des 10 à 15 dernières années, ce qui ne sera peut-être plus vrai lorsque l'âge moyen du patrimoine augmentera. La méthode proposée ici doit permettre d'optimiser la répartition des charges d'entretien.

5.4.2 - Stratégie de maintien à niveau du patrimoine

On se fixe alors de respecter, au fil des années : $V_{\text{Sociétale actuelle}} = \text{Constante}$

Cette évaluation doit être faite à périmètre de patrimoine constant (ouvrages construits avant 1990 par exemple).

On définit ainsi le coût des travaux annuels permettant de maintenir globalement le patrimoine dans son état, travaux d'entretien courant non compris.

C'est l'argent nécessaire qu'il faut investir chaque année pour les travaux de réparation afin de maintenir constant l'indicateur moyen de l'état du patrimoine. On retient donc dans ce calcul l'ensemble des réparations les plus rentables à effectuer pour maintenir l'indicateur, compte tenu de la décote annuelle sur l'état des parties d'ouvrages.

5.4.3 - Stratégie de maintien à niveau du patrimoine par le biais d'indicateurs d'état

On peut considérer qu'un patrimoine est bien géré lorsque l'on respecte les conditions définies au paragraphe 5.2 - , mais il est également possible de fixer des objectifs par rapport aux classes du système d'évaluation de l'état des ouvrages.

Par exemple, pour la méthode IQOA, l'Etat applique les ratios suivants :

- Nombre des ouvrages non évalués : 0% du patrimoine
- Surface totale des ouvrages notés 1 ou 2 : > 55% du patrimoine
- Surface totale des ouvrages notés 2^E: <30% du patrimoine
- Surface totale des ouvrages notés 3+3U: <15% du patrimoine
- Surface totale des ouvrages notés 3U : <1% du patrimoine

On peut aussi y ajouter des critères sur l'âge des ouvrages, mais en excluant les anciens ouvrages en maçonnerie qui sont souvent très robustes malgré leur grand âge. On pourrait par exemple adopter le critère suivant :

- Nombre d'ouvrage de moins de 150 ans et de plus de 100 ans < 10%

Ce dernier critère est pénalisant pour les gestionnaires qui possèdent un réseau ancien. Ce critère est donc à affiner et vise à inciter un maître d'ouvrage à ne pas accumuler trop d'ouvrages très anciens dans son patrimoine, et à lisser les dépenses .

En appliquant ces critères, le gestionnaire peut calculer le coût des travaux annuels permettant de maintenir globalement le patrimoine dans son état, travaux d'entretien courant non compris.

5.5 - Rentabilité et hiérarchisation des travaux

Pour chaque ouvrage nécessitant une intervention, on évalue la valeur sociétale avant et après travaux de réparation. On calcule également par une méthode forfaitaire dans un premier temps le coût des travaux nécessaire à la remise en état de l'ouvrage.

L'évaluation de la valeur sociétale après travaux se fait en considérant que la partie d'ouvrage réparé a une note satisfaisante, 2 par exemple pour la méthode IQOA. En général, on ne considère pas que des travaux peuvent modifier la classe de robustesse de l'ouvrage, sauf cas particuliers à justifier (renfort par précontrainte,...).

On calcule alors le rapport de l'augmentation de la valeur sociétale rapportée au coût des travaux :

$$R_{\text{Travaux}} = \frac{\Delta V_{\text{valeur sociétale}}}{\text{Coût}_{\text{Travaux}}}$$

Dans ce calcul, on doit s'assurer qu'une reconstruction n'est pas plus pertinente, ce qui est parfois le cas des ouvrages classés 3U. Pour cela, il faut vérifier que :

$$R_{\text{Reconstruction}} = \frac{V_{\text{Sociétale à neuf}} - V_{\text{Sociétale actuelle}}}{\text{Coût}_{\text{Reconstruction}}} < R_{\text{Travaux}} = \frac{V_{\text{Sociétale OA entretenu}} - V_{\text{Sociétale actuelle}}}{\text{Coût}_{\text{Travaux}}}$$

On hiérarchise ensuite les interventions par rentabilité décroissante, en considérant qu'en règle générale on recherche évidemment une rentabilité supérieure à 1, sauf enjeu de sécurité.

Le gestionnaire peut ainsi faire différentes séries de simulation permettant de déterminer :

- les meilleurs investissements par partie d'ouvrage (remise à niveau de chaque partie d'ouvrage).
- les meilleurs investissements par ouvrage (remise à niveau de toutes les parties).
- les meilleurs investissements pour les ouvrages classés dans une catégorie d'état (par exemple pour IQOA : 2^E, 3, 3U).
- une optimisation par itinéraire.

Cette étude de rentabilité permet d'orienter a priori les études à lancer et les travaux à réaliser. Bien sûr, les ouvrages sélectionnés par cette méthode devront faire l'objet d'une étude approfondie tant sur l'évaluation de la sécurité que du coût des travaux à engager réellement.

5.6 - Programme des travaux

En fonction des dossiers de réparation prêts, comprenant les coûts d'études et de maîtrise d'œuvre, de l'enveloppe financière disponible, d'un réglage global entretien/réparation, et de logiques d'itinéraires, le gestionnaire définit son programme concernant les travaux et les études en se basant sur la hiérarchisation par rentabilité décroissante .

Cette méthode doit faire ressortir les attentes du gestionnaire puisqu'elle prend en compte à la fois le bénéfice des travaux curatifs améliorant sensiblement l'état de l'ouvrage, celui des travaux préventifs permettant d'éviter sa dégradation , ainsi que l'importance stratégique de l'ouvrage. Des réglages sont possibles en faisant varier certains coefficients.

Le programme des travaux ainsi établi doit être complété par la réparation prioritaire des ouvrages posant un problème de sécurité immédiate (système de sécurité hors d'usage, ouvrage menaçant ruine).

6 - Conclusion

La méthode exposée dans ce document jette les bases d'une analyse de la valeur appliquée à la gestion d'un patrimoine des ouvrages d'art.

Le déploiement complet de cette méthode dans le système de gestion des ouvrages d'art du réseau routier national n'est pas possible, car les bases de données sur l'état du patrimoine et le coût des réparations ne sont pas assez complètes.

Cependant, ce travail permet de préciser les données manquantes et les paramètres pertinents pour permettre une gestion plus fine d'un patrimoine.

Elle ouvre également la voie à des sujets de recherche sur ce thème. La méthode proposée souffre en effet d'un défaut de calage du fait de la qualité des informations disponibles aujourd'hui, en particulier sur les lois d'évolution de l'état des ouvrages et sur le coût et la durabilité des réparations.

Cependant, il est prévu d'intégrer dès maintenant sous une forme simplifiée cette méthode dans le logiciel Lagora et de compléter progressivement la base de données sur l'état du patrimoine. Au fur et à mesure du renseignement de cette base, cette méthode deviendra un outil d'assistance et de dialogue plus performant pour le gestionnaire.

Le PCI « gestion patrimoniale des ouvrages d'art » est saisi du sujet avec l'appui d'experts du RST pour faire progresser rapidement les connaissances sur ce thème et rendre la méthode complètement opérationnelles.

Bibliographie

Glossaire

Aléa :

Evénement d'origine humaine ou naturelle, caractérisé par une fréquence d'occurrence (exemple : un séisme, un choc de véhicule ou la corrosion).

Analyse de risques :

Méthode qui évalue la mise en danger des personnes et des biens face aux aléas.

Défaillance :

Altération totale ou partielle de l'aptitude d'un ouvrage à accomplir ses fonctions d'usage.

Dégradation :

Altération partielle d'un ouvrage permettant néanmoins le maintien de ses fonctions d'usage.

Durabilité :

Aptitude d'un ouvrage à assurer ses fonctions dans le temps.

Durée de vie d'une famille d'ouvrage :

Estimation statistique de l'âge moyen des ponts démolis du fait de leur vétusté en fonction de leur typologie : cadre en béton armé, dalle en béton précontraint, buse métallique...

Enjeux :

Désigne ce que le maître d'ouvrage peut perdre lorsque l'un de ses ouvrages a subi des dommages : pertes de vie humaines, perte d'aptitude de l'ouvrage,...

Entretien préventif :

Action de maintenance destinée à traiter les dégradations avant qu'elles ne compromettent l'état de service de l'ouvrage ou la sécurité des personnes.

Entretien courant :

Action de maintenance mise en œuvre de manière régulière et avec des moyens sommaires, comme le débouchage des gargouilles ou le nettoyage des sommiers d'appuis.

Entretien spécialisé :

Action de maintenance mise en œuvre avec des moyens techniques élaborés, comme le remplacement des équipements de ponts.

Gestion du risque :

Ensemble des actions permettant d'éviter, de limiter ou de maîtriser les conséquences de la réalisation d'un aléa.

Gravité :

Intensité des conséquences d'une défaillance.

Maintenance :

Ensemble des actions destinées à conserver l'aptitude d'un ouvrage à accomplir ses fonctions d'usage.

Méthode IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) :

Méthode de gestion permettant l'évaluation de l'état apparent des ouvrages d'art par le biais d'une classification des désordres.

Méthode VSC (Visites Simplifiées Comparées) :

Méthode de gestion d'ouvrages de génie-civil croisant l'évaluation de l'état apparent de l'ouvrage et son importance socio-économique.

Méthode Départementale :

Méthode de gestion des ponts croisant l'évaluation de l'état apparent de l'ouvrage et son importance socio-économique.

Réparation :

Travaux réalisés sur un ouvrage dans le but de lui rendre son niveau de service initial.

Renforcement :

Travaux réalisés sur un ouvrage dans le but d'améliorer son niveau de service initial, par exemple avec l'ajout d'une voie de circulation.

Rentabilité des travaux :

Rapport entre le gain de valeur sociétale apporté par des actions de maintenance ou de réparation, et leurs coûts.

Robustesse :

Aptitude d'un ouvrage à faire face à un aléa.

Sécurité d'un ouvrage :

Etat de l'ouvrage garantissant la protection des hommes, des biens et de l'environnement.

Surveillance :

Ensemble de moyens mis en œuvre pour suivre l'état et le fonctionnement d'un ouvrage.

Valeur sociétale d'un ouvrage :

Valeur accordée par un gestionnaire à un ouvrage en service sur la base de son coût neuf, modulé par des coefficients permettant de prendre en compte son état, son âge, sa conception, son importance socio-économique, et sa situation.

Valeur sociétale d'un parc d'ouvrage :

Somme des valeurs sociétales des ouvrages composant le parc.

Valeur sociétale d'un ouvrage parfaitement entretenu :

Valeur sociétale d'un ouvrage pour lequel toutes les parties d'ouvrage sont jugées en bon état par le maître d'ouvrage, soit d'origine pour un ouvrage neuf ou récent, soit après réparation dans le cas contraire.

Valeur sociétale actuelle :

Valeur sociétale d'un ouvrage dans son état actuel. Il peut donc être en bon état ou dégradé selon le cas.

Valeur sociétale à neuf :

Valeur sociétale d'un ouvrage qui serait entièrement reconstruit à l'identique ou par un ouvrage de substitution si ce type d'ouvrage ne se construit plus de nos jours.

Valeur sociétale avant réparation :

Valeur sociétale actuelle d'un ouvrage pour lequel certaines de ses parties sont défectueuses.

Valeur sociétale après réparation :

Valeur sociétale d'un ouvrage pour lequel certaines de ses parties ont été réparées. Ces parties réparées sont réputées être en bon état après réparation. Lorsque toutes les parties défectueuses ont été réparées, la valeur sociétale après réparation est égale à la valeur sociétale de l'ouvrage entretenu.

Vétusté :

Perte progressive de l'aptitude d'un ouvrage par la dégradation des matériaux sous l'effet du trafic ou de l'environnement ou par son inadéquation croissante aux exigences nouvelles comme l'augmentation du trafic, du poids des véhicules ou de la sévérité des normes de sécurité sur les personnes et l'environnement.

Vulnérabilité :

Inaptitude d'un ouvrage à faire face à un aléa (inverse de la robustesse).

Annexes

Annexe 1 : Coefficients relatifs à l'Importance des voies dans le logiciel Lagora

Nom	Type de voie	Valeur de A	Coef C _{site}
GLAT	Route nationale	4	1,15
VCA (voie à caractère autoroutier)	Route nationale	4	1,25
RNL (Route Nationale de Liaison)	Route nationale	3	1,15
RNO (Route Nationale Ordinaire)	Route nationale	3	1,10
VRU 50 (Voie rapide urbaine > 50000 véhicules / jour)	Route nationale	4	1,15
Autoroute concédée	Autoroute concédée	4	1,25
Autoroute mixte	Autoroute mixte	4	1,25
Autoroute non concédée	Autoroute non concédée	4	1,25
Route départementale	Route départementale	3	1,05
Chemin communal	Route communale	2	0,90
Chemin rural	Route communale	1	0,70
Impasse	Route communale	1	0,60
Canal	Autres types de voie	2	1,15
Chenal	Autres types de voie	1	1,15
Fleuve navigable	Autres types de voie	2	1,20
Fossé	Autres types de voie	0	0,50
Fleuve non navigable	Autres types de voie	1	1,10
Galerie technique	Autres types de voie	2	0,50
Lac - Etang	Autres types de voie	1	1,10
Mer - Océan	Autres types de voie	1	1,10
Métropolitain	Autres types de voie	3	1,20
Parking	Autres types de voie	2	0,80
Piste cyclable	Autres types de voie	2	0,50
Passage cavaliers	Autres types de voie	2	0,50
Port fluvial	Autres types de voie	2	1,15
Passage gibiers ou bestiaux	Autres types de voie	1	0,80

Nom	Type de voie	Valeur de A	Coef C _{site}
Piste en lande	Autres types de voie	0	0,50
Port maritime	Autres types de voie	2	1,20
Passage piétons	Autres types de voie	2	0,90
Piste revêtue (aérodrome)	Autres types de voie	3	1,25
Aire de trafic (aérodrome)	Autres types de voie	3	1,05
Passage de verdure	Autres types de voie	0	0,50
Route forestière	Autres types de voie	0	0,60
Rivière navigable	Autres types de voie	2	1,15
Route privée ou industrielle	Autres types de voie	2	1,10
Ruisseau - Torrent	Autres types de voie	1	0,90
Rivière non navigable	Autres types de voie	1	1,00
Transport de produits industriels	Autres types de voie	2	1,05
Tramway	Autres types de voie	3	1,20
Thalweg	Autres types de voie	0	0,50
Taxi way (aerodrome)	Autres types de voie	1	1,10
Vallée	Autres types de voie	0	0,60
Voie de désenclavement	Autres types de voie	0	0,90
SNCF	Autres types de voie	3	1,15
Voies ferrées privées ou industrielles	Autres types de voie	3	1,10
Watergang	Autres types de voie	0	0,80
Zone inondable	Autres types de voie	0	0,80

Annexe 2 : Notions sur le trafic des voies routières

Définitions relatives au trafic :

trafic de transit : trafic ayant son origine et sa destination en dehors de la zone étudiée (important pour décider de la nécessité d'une déviation) ;
 trafic d'échange : trafic ayant son origine à l'intérieur de la zone étudiée et sa destination à l'extérieur de la zone d'échange et réciproquement (important pour définir les points d'échange) ;
 trafic local : trafic qui demeure à l'intérieur de la zone étudiée ;
 trafic moyen journalier annuel (T.M.J.A.) : il est égal au trafic total de l'année divisé par 365 ;
 unité de véhicule particulier (U.V.P.) exprimé par jour ou par heure. On tient compte de l'impact plus important de certains véhicules, en particulier les poids lourds, en leur affectant un coefficient multiplicateur de deux ;
 les trafics aux heures de pointe, avec les heures de pointe du matin (HPM), et les heures de pointe du soir (HPS) ;
 le trafic journalier de fin de semaine ;
 le trafic journalier moyen d'été (pour les régions de villégiature estivale).

Les capacités des différents types de voies

La capacité pratique est le débit horaire moyen à saturation. C'est le trafic horaire au-delà duquel le plus petit incident risque d'entraîner la formation de bouchons.

La capacité dépend :

- des distances de sécurité (en milieu urbain, ce facteur est favorable, il l'est beaucoup moins en rase campagne, où la densité de véhicules sera beaucoup plus faible) ;
- des conditions météorologiques ;
- des caractéristiques géométriques de la route.

On peut définir le débit horaire moyen de pointe à partir de l'historique annuel des trafics. Il apparaît ainsi qu'en classant par ordre décroissant les débits horaires sur une année, la courbe présente la forme d'une fonction du type $1/x$.

On considère que le débit correspondant au changement de pente correspond au débit de pointe normal ; c'est-à-dire le débit maximum qui se reproduit périodiquement hors circonstances particulières (départ en vacances par exemple).

Le changement de pente de la courbe correspond généralement à une plage de données situées entre la 10^e et la 50^e heure, on choisit conventionnellement de prendre en compte la 30^e heure pour caractériser le débit horaire de pointe moyen et de le comparer à la capacité de la voie.

Le débit de la 30^e heure est utilisé pour le dimensionnement des gares de péage par exemple.

Capacités pratiques de route

Les valeurs ci-dessous, exprimées en UVP / jour, sont valables pour des sections en rase campagne, hors zones de carrefour et pour des régions relativement plates.

Type de voie	Seuil de gêne	Seuil de saturation
2 voies	8 500	15 000
3 voies	12 000	20 000
2 x 2 voies	25 000	45 000
2 x 3 voies	40 000	65 000

Si on raisonne sur les débits horaires, c'est-à-dire en UVP / H pour les 2 sens, les résultats sont les suivants pour une route à une seule chaussée et à deux voies de 3,50 m.

Seuil	Trafic en UVP / H pour les 2 sens
Seuil de gêne	750
Seuil de circulation dense	1 100
Seuil de risque de congestion	2 000

Pour les poids lourds et le dimensionnement des chaussées, la classe de trafic est définie par la limite supérieure de l'intervalle dans lequel se trouve le trafic moyen journalier annuel (TMJA) de poids lourds par sens de circulation, sur la voie la plus chargée

Classe	TMJA moyen par sens
T5	entre 0 et 25
T4	entre 25 et 50
T3-	entre 50 et 85
T3+	entre 85 et 150
T2	entre 150 et 300
T1	entre 300 et 750 PL
T0	entre 750 et 2000 PL
TS	entre 2000 et 5000 PL
T exp	supérieur à 5000 PL

Annexe 3 : Prise en compte de la robustesse des différents types d'ouvrages.

Le coefficient $\gamma_{robustesse}$ donné ci-dessous pondère la durée de vie moyenne escomptée pour un ouvrage

1,5	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
	Portique PIPO	Autre portique				
	Cadre PICF	Autre cadre				
			VIPP de 2 ^{ème} génération, (> 1967)		VIPP de 1 ^{ère} génération, (<= 1967)	
		Pont en BP caisson moderne	Pont en BP caisson avant 1975			
		Caisson BA				
		PRAD caisson ouvrage hydraulique	PRAD caisson sur route			
		PRAD ouvrage hydraulique	PRAD sur route			
			Pont à béquille			
		Dalle nervurée BP				
			Dalle élégie			
		Dalle BP				
	Dalle BA					
	Dalle nervurée BA					
		Dalle sur palplanches				
		Pont à poutre BA après 1950	Pont à poutre BA avant 1950			
			Pont à poutre BP			
				Divers bois		
				Divers Béton		
		Divers BA				
				Divers BP		
				Divers mat. divers		
		Divers MA				
			Divers ME			
			Divers MI			
		Dalot béton				
				Dalot pierre		
		Buse béton				
				Buse métallique après 1975		Buse métallique avant 1975
		Voûte en BA				
Voûte en						

maçonnerie						
			Voûte élargie	BA		
		Voûte élargie	MA			
		Pont en arc				
		bow-string construits après 1990	bow-string avant 1990			
		Pont Mixte				
					Pont provisoire	
	Poutrelles enrobées					
				Poutres sous chaussée métal avec voûtains		
			Poutres métalliques sous dalle béton non connectée			
			Caissons métalliques sous dalle béton non connectée			
			Pont métallique orthotrope à poutres récent		Pont métallique orthotrope à poutres ancien	
			Pont métallique orthotrope caisson récent		Pont métallique orthotrope caisson	
	Pont mixte caisson moderne		Pont mixte caisson avant 1995			
	Pont mixte multi-poutres moderne	Pont mixte bi-poutres moderne	Pont mixte construit avant 1995			
			Poutres latérales treillis de conception moderne	Poutres latérales treillis avant 1980		
				Pont mobile		
			Pont haubans	à		
				Pont suspendu		

Nota:

La robustesse doit ici s'entendre comme la capacité de la structure à supporter les « outrages du temps », c'est à dire l'ensemble des aléas (trafic, gel, chocs, ...), avec un entretien normal. La notion de robustesse procède aussi de la redondance de pièces identiques dans un ouvrage, susceptibles de compenser partiellement la défaillance de l'une d'entre-elles. Cela suppose aussi que les ouvrages aient bien sûr été correctement conçus et réalisés. On observe parfois des « dédoublements » de famille du fait de l'évolution des pratiques de conception et de mise en oeuvre.

Vis à vis de l'affouillabilité des fondations hydrauliques en tenant compte du sol, du régime hydraulique et de la nature de la fondation (si elle est connue), une note unique de 0,6 caractérisant la non-robustesse de la fondation vis-à-vis du risque d'affouillement de l'ouvrage a été retenue à ce stade.

ROBUSTESSE DES MURS

1	0,9	0,8	0,7	0,6
	Mur poids en pierres sèches			
Mur poids maçonnerie				
Mur poids béton				
		Mur poids gabions		
	Mur poids en éléments empilés			
	Murs en béton encastrés sur semelle (age ≤ 10 ans)			
		Murs en béton encastrés sur semelle (age > 10 ans)		
	Palplanches (autres)	Palplanches en site marin		
	Parois			
	Parois composites			
		Terre armée avant 1975		
	Terre armée depuis 1975			
	Massif en géosynthétiques			
	Paroi cloutée			
	Voiles ancrés			
		Divers		

Annexe 4 : Actions de travaux et d'études du logiciel Lagora

Ces listes peuvent servir de base pour estimer des travaux de réparation.

Action de travaux	Unité associée
Travaux d'entretien courant	Pas d'unité
Travaux préparatoires	forfait
Déviations et signalisation de chantier	forfait
Etudes d'exécution	forfait
Contrôles d'exécution	forfait
Batardeaux	unité
Pieux et micropieux	forfait
Radier / parafouille	m ²
Traitement des terrains de fondations	forfait
Protection contre les affouillements	forfait
Autres réparations de fondations	forfait
Béton projeté	m ²
Ragréage des bétons	m ²
Traitement des fissures ou fractures	m
Peinture, lasure, projection béton antigriffiti	m ²
Peinture des structures métalliques	m ²
Rejointoiement (maçonnerie)	m ²
Ajout d'aciers passifs	forfait
Précontrainte additionnelle	forfait
Réparation dalle de transition	m ²
Remplacement d'un appui (piles ou culées)	unité
Injections de maçonnerie	m ³
Ré-injection de câbles de précontrainte	forfait
Renforcement par produits collés	forfait
Tirant	forfait
Chemisage ou renforcement d'une voûte	m ²
Remplacement du tablier (ou de la structure)	m ²
Renforcements d'ossature métallique	forfait
Vérinage d'une ligne d'appui	unité
Réparation bossages et dés d'appui	unité
Changement d'appareils d'appui	Dm ³
Chape d'étanchéité et couche de roulement	m ²
Joint de chaussée ou de trottoir (réparation)	ml
Joint de chaussée ou de trottoir (remplacement)	ml
Corniche (réparation ou changement)	ml
Réparation de trottoir	m ²
Evacuation des eaux	forfait
Peinture des dispositifs de retenue	ml
Dispositifs de retenue (réparation ou pose)	ml
Réception	Pas d'unité

Ecrans antibruit	ml
Divers	Pas d'unité
Action de travaux	Unité associée
Plan Particulier Sécurité Protection Santé PPSPS	forfait
Disp. part. liées à la prot. de l'environnement	forfait
Busage d'une voûte	forfait
Protection des bétons	forfait

Action d'études	Unité associée
Dossier d'inscription / prise en considération	Forfait
Sondages	Forfait
Instrumentation topométrique	Forfait
Pesée des réactions d'appui	Forfait
Instrumentation de déformations	Forfait
Instrumentation de fissures et fractures	Forfait
Etude de matériaux	Forfait
Autres investigations complémentaires	Forfait
Prédiagnostic	Forfait
Recalcul	Forfait
Diagnostic	Forfait
Etudes préliminaires	Forfait
Avant-projet de réparation (APROA)	Forfait
Cons. Mission Interministérielle Sur l'Eau MISE	Forfait
Dossier d'enquête Loi sur l'eau	Forfait
Dossier de déclaration Loi sur l'eau	Forfait
Dossier d'autorisation Loi sur l'eau	Forfait
Plan d'exploitation de la route	Forfait
Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)	Forfait
Plan Particulier Sécurité Protection Santé PPSPS	Forfait
Inspection détaillée particulière	Forfait
Analyse des matériaux	Forfait
Mesures sur l'ouvrage	Forfait
Calculs / recalculs	Forfait

Annexe 5 : Types d'ouvrages et ouvrages de remplacement en cas de reconstruction

Type ouvrage LAGORA	Libellé	Matériau LAGORA	Code type ouvrage LAGORA	Code type ouvrage IQOA	Ouvrage de remplacement
ARC	Pont en arc		ARC	ARC	ARC
BB	Buse	BA, BE	BB	BB	BB
		ME	BM	BM	BB
BOW	Bow-string	BA, BP	BOWBA	BOWBA	BOWBA
		ME	BOWME	PLME	BOWME
CAD	Cadre		CADRE	CADRE	CADRE
DAE	Dalle élégie		PDEBP	PDBP	PDEBP
DAL	Dalot		DALOT	DIVBA	DALOT
DAP	Dalle encastrée sur palplanches		DALPAL	DIVBA	DALPAL
DIV	Autre structure associée à un matériau	BA	DIVBA	DIVBA	DIVBA
		BE	DIVBE	DIVBA	DIVBE
		BO	DIVBO	AU	DIVBO
		BP	DIVBP	DIVBP	DIVBP
		DV	DIVDV	AU	DIVDV
		MA	DIVMA	DIVMA	DIVMA
		ME	DIVME	DIVME	DIVME
		MI	DIVMI	DIVMI	DIVMI
DV	Autre structure non associée à un matériau		AU	AU	AU
HB	Pont à haubans		HB	HB	HB
MOB	Pont mobile		MOB	MOB	MOB
MXP	Poutres sous chaussée métal avec dalle participante		MIXTEP	MIXTE	MIXTEP
ORT	Poutres sous chaussée métal avec dalle orthotrope		ORTHOP	ORTHO	ORTHOP
PBA	Poutres sous chaussée ou nervures BA		PPBA	PPBA	PDBP
PBQ	Pont à béquilles		PBQ	PBQ	PBQ
PCB	Poutres caissons BP par post-tension		PCBP	PCBP	PCBP
PCD	Poutres sous chaussée métal avec dalle non participante		PPME	PPME	MIXTEP
PCM	Poutres caissons métal avec dalle non participante		PCME	PPME	PCME
PDB	Pont dalle ou dalle nervurée	BA	PDBA	PDBA	PDBA
		BP	PDBP	PDBP	PDBP
PLT	Poutres latérales treillis		PLME	PLME	PLME
POC	Poutres caissons métal avec dalle orthotrope		ORTHOC	ORTHO	ORTHOC
POR	Portique simple ou double		PORTIQ	PORTIQ	PORTIQ
PPBP	Autres poutres sous chaussée BP (hors caissons)		PPBP	PPBP	PDBP
PPE	Poutrelles enrobées		PPE	PPE	PPE
PRC	PRAD Caissons		PRADC	PRAD	PRADC
PRP	PRAD Poutres		PRADP	PRAD	PRADP
PRV	Pont provisoire (dont VMD)		PROV	PROV	PROV
PV	Pont voûté	MA	PVMA	PVMA	PDBA
		BA, BE	PVBA	PVBA	PDBA
PVE	Pont voûté élargi	MA	PVMAE	PVMA	PDBA
		BA, BE	PVBAE	PVBA	PDBA
PVV	Poutres sous chaussée métal avec voûtains		PVME	DIVME	MIXTEP
PXC	Poutres caissons métal avec dalle participante		MIXTEC	MIXTE	MIXTEC
SUS	Pont suspendu		SUSP	SUSP	HB
VIP	VIPP		VIPP	VIPP	MIXTEP
---	(Sans)		AU	AU	AU

Annexe 6 : Coût de remise en état des ouvrages

AR0 : Année de référence des coûts de réparation	2008
--	------

prix/m ² € TTC année 2008		Classe de l'ouvrage				
Famille	Nom de la famille	1	2	2 ^E	3	3U
F1	béton armé	0	90	245	260	710
F2	buses béton	0	125	145	180	360
F3	buses métal	0	85	155	360	1035
F4	béton précontraint hors caissons	0	85	125	155	255
F5	caissons béton précontraint	0	30	60	165	215
F6	maçonnerie	0	110	620	860	965
F7	métalliques	0	60	60	280	445
F8	mixte	0	60	60	280	445
F9	ouvrages divers	0	45	330	435	1440

Annexe 7 : Durée de vie estimée pour les ponts

Le tableau suivant donne la durée de vie estimée à partir d'une étude statistique faite par le Sétra sur la démolition et la reconstruction des ponts en France. Cette durée de vie a été légèrement corrigée par les experts du RST en fonction de leur expérience dans ce domaine.

Famille	Familles d'ouvrages	Age moyen des ponts démolis	Durée de vie théorique	Durée de vie statistique
F1	Béton armé	51 ans	100 ans	80 ans
F2	Buses béton		70 ans	70 ans
F3	Buses métalliques		70 ans	35/45 ans
F4	Béton précontraint hors caissons	31 ans	100 ans	70 ans
F5	Caissons en béton précontraint	31 ans	100 ans	70 ans
F6	Maçonnerie	86 ans		250 ans
F7	Métal	82 ans	100 ans	70 ans
F8	Mixte acier-béton		100 ans	90 ans
F9	Ouvrages divers		100 ans	70 ans

Annexe 8 : Robustesse des piles et culées de ponts

Robustesse des piles

Pour les piles, les principaux aléas sont les suivants:

Choc de véhicule (issue d'une note du Sétra aux sociétés d'autoroute)

La nécessité de prendre en compte les chocs de poids lourds dans la conception et le dimensionnement des appuis d'ouvrages d'art a été ressentie dès 1966, avec la publication de la mise à jour du dossier type " Piles et Palées : P.P.64 " du Service Spécial des Autoroutes.

Toutefois, l'augmentation du nombre, de la masse et de la vitesse des poids lourds, ainsi que l'observation des conséquences réelles des accidents ont amené à compléter ces premières recommandations en 1977 par un additif au dossier " Piles et Palées : P.P.73 " du Sétra. Ces recommandations ont par la suite été reprises par le Cahier des Clauses Techniques Générales (BAEL 80, BAEL 83, BAEL 91) et constituent donc la base de la réglementation en vigueur avant l'entrée en application des Eurocodes.

Vis-à-vis de ce critère, on pourra considérer que les appuis construits avec les recommandations de PP 73 ou avec le BAEL 891 sont correctement protégés.

Pour les ouvrages construits avant 1977, on pourra considérer que :

- les fûts de faibles dimensions (fûts rectangulaires $0,50 \times 0,60$ ou circulaires $\varnothing 0,60$) ne satisfont généralement pas les conditions requises.
- pour les fûts rectangulaires de plus grandes dimensions, l'examen sommaire du ferrailage est nécessaire.

La probabilité de choc dépend principalement du trafic et on peut s'inspirer sous une forme simplifiée et adaptée au contexte des ouvrages existants la pièce 1.3.3. du document P.P.73 (octobre 1976).

En fonction de la circulation journalière moyenne T , ce sous-indice est arrondi à l'entier égal ou supérieur à $2 \text{Log}_{10}(T)$, avec une limite supérieure de 10 soit :

- 8** à partir d'environ 3200 v/j,
- 9** à partir d'environ 10 000 v/j,
- 10** si la circulation est supérieure à environ 30 000 v/j.

En cas de chaussées séparées, on retient:

- la circulation totale pour un appui sur le terre-plein central,
- la circulation dans un seul sens pour un appui de rive.

Choc de bateau

L'intensité des chocs à prendre en compte sur les appuis de pont est aujourd'hui définie dans l'Eurocode.

En France, les valeurs de choc à prendre en considération ont été définies dans le fascicule 61 titre II de 1971 puis reprises dans l'annexe D du BAEL, document qui fixe les règles techniques de conception et de vérification des ouvrages en béton armé. Le dimensionnement des piles de ponts contre les chocs de bateaux est prescrit par la circulaire 76-38 relative aux caractéristiques des voies navigables.

On pourra considérer que les ouvrages construits après 1976 offrent une conception en accord avec l'aléa.

En pratique, les canaux (hors rivières canalisées) ne sont pas concernés, car ils sont enjambés d'une seule travée. On peut également considérer que seules les voies à grand gabarit présentent un risque fort du fait d'une probabilité et d'une intensité de choc élevés. Les voies concernées sont :

- **Classe VI** : Canal de Dunkerque à Valenciennes, Canal de la Deûle, entre Bauvin et Marquette, Oise canalisée, de Janville à La Seine, Seine, de Montereau à Gennevilliers, Petite-Seine, de Nogent-sur-Seine à Montereau, Moselle canalisée, de Neuves-Maisons à la frontière, Rhône, de Lyon à la mer, et canal Saint-Louis. (Hauteur libre : 7 m; largeur des passes navigables : 60 m.), Petit-Rhône, d'Arles à Saint-Gilles, Saône, de Saint-Symphorien à Lyon.
- **Classe VII** : Seine, de Gennevilliers à la mer. (Hauteur libre 7m), Canal du Havre à Tancarville, Rhin et grand canal d'Alsace.

Affouillement

Les appuis en rivière sont tous naturellement sensibles à cet aléa dont l'ampleur dépend de la vitesse du courant, de la nature du sol et des éventuelles mesures de protections prises. Pour les appuis classés 3 ou 3U, on peut logiquement considérer que leur conception n'a pas intégré ce risque, ou que les conditions géomorphologiques du lit et hydrodynamiques du cours d'eau ont changé. Pour les autres, il ne semble guère possible d'avoir une approche prédictive sans analyser le dossier de l'ouvrage.

Séisme (issues du guide pour le renforcement des ouvrages en zone sismique)

Les règles PS 69 définissent les premières règles de dimensionnement. Les ouvrages étaient dimensionnés pour une accélération horizontale de 0,1, niveau généralement suffisant pour assurer la sécurité des ouvrages dans zones de sismicité faibles à modérées.

En pratique, seuls les ouvrages construits depuis 1995/1996 (décret du 14 mai 1991 puis arrêté du 15 septembre 1995) bénéficient d'une conception parasismique moderne

Les appuis des ouvrages implantés en zone sismique et construits avant la parution des règlements modernes exigeant une conception parasismique adaptée ne sont cependant pas forcément en situation critique. Les ouvrages tels que les ponts cadres, les voûtes, les maçonneries, les ouvrages à une travée sont réputés avoir un comportement raisonnablement satisfaisant sous séisme. Pour les ouvrages continus équipés d'appareils d'appui en néoprène, on pourra considérer que le découplage sismique entre l'appui et le tablier est très favorable.

Les ouvrages clairement vulnérables sont les ponts courbes, les ponts en arc, les ponts en béton bloqués sur appuis.

Robustesse des culées

Pour les culées, on peut considérer que les principaux aléas sont :

L'aléa géotechnique: une mauvaise reconnaissance du sol de fondation, une mauvaise évaluation des poussées, une mauvaise exécution ou un mauvais dimensionnement conduisent à des tassements voire à un basculement de l'ouvrage qui peut notamment mettre le tablier en butée contre le mur garde-grève. Cet aléa est fortement corrélé à la poussée des terres et donc à la hauteur du soutènement. On considère que la hauteur de 10 m discrimine les soutènements non courants des ouvrages courants.

L'aléa sismique: les culées élevées, à partir de 7 mètres de haut, sont particulièrement vulnérables, d'une part, parce que les poussées augmentent et d'autre part, par les rotations en pied qui induisent de forts déplacements en tête.

On a la vulnérabilité croissante suivante :

- culée fondée superficiellement sur rocher,
- culée fondée superficiellement sur remblai en sol renforcé, culée creuse, culée enterrée,
- culée à mur de front,
- culée fondée superficiellement sur sol meuble.

Conclusion sur la robustesse des appuis

In fine, nous proposons d'adopter les valeurs des tableaux ci-dessous pour quantifier la robustesse des appuis, avec les hypothèses suivantes :

- les aléas de choc ou de séisme sont indépendants et ne se cumulent pas.
- l'aléa d'affouillement se cumule lui automatiquement à l'un ou l'autre, car il s'agit d'un état permanent tant que le désordre d'affouillement persiste.

On retiendra donc la valeur la plus pénalisante des tableaux, en ayant examiné la situation avec ou sans prise en considération de l'aléa sismique.

Robustesse (hors séisme)						
Pile		1	0,9	0,8	0,7	0,6
Sans affouillement	Voie franchie = route	Appuis construits depuis 1971	Appuis construits avant 1971 (trafic<8)	Appuis construits avant 1971 (trafic>7)	Appuis construits avant 1971 (trafic>10)	Colonne gracile (trafic>10)
	Voie franchie = voie navigable	Appuis construits depuis 1976.		Appuis construits depuis 1976.		
	Voie franchie = pas de risque de choc	Tous appuis				
Avec affouillement constaté	Voie franchie = rivière	Sans affouillement constaté		affouillement constaté	affouillement constaté depuis 10 ans	Appuis si affouillement constaté depuis 20 ans
	Voie franchie = voie navigable	Sans affouillement constaté et ponts construits depuis 1976		Sans affouillement constaté et ponts construits depuis 1976	affouillement constaté et Appuis construits avant 1976.	affouillement constaté depuis 10 ans et Appuis construits avant 1976.
Culée sans affouillement		H<10m		H>10m		
Culée avec affouillement			H<10m		H>10m	

Robustesse (séisme sans affouillement)						
Pile		1	0,9	0,8	0,7	0,6
Après 1996		Toutes piles				
Entre 1969 et 1996		Zone d'aléa très faible à modérée				
Avant 1969 ou avant 1996 et zone sismique élevée		Pont à une travée	Pont mixte à plusieurs travées sur néoprènes	Pont béton à plusieurs travées sur néoprènes	Pont en arc Pont béton à plusieurs travées sur appuis fixes	
Culée		H<7m		H>7m		

Robustesse (séisme avec affouillement)						
Pile		0,8	0,7	0,6	0,5	
Après 1996		Toutes piles				
Entre 1969 et 1996		Zone d'aléa très faible à modérée				
Avant 1969 ou avant 1996 et zone sismique élevée		Pont à une travée	Pont mixte à plusieurs travées sur néoprènes	Pont béton à plusieurs travées sur néoprènes	Pont en arc Pont béton à plusieurs travées sur appuis fixes	
Culée		H<7m		H>7m		

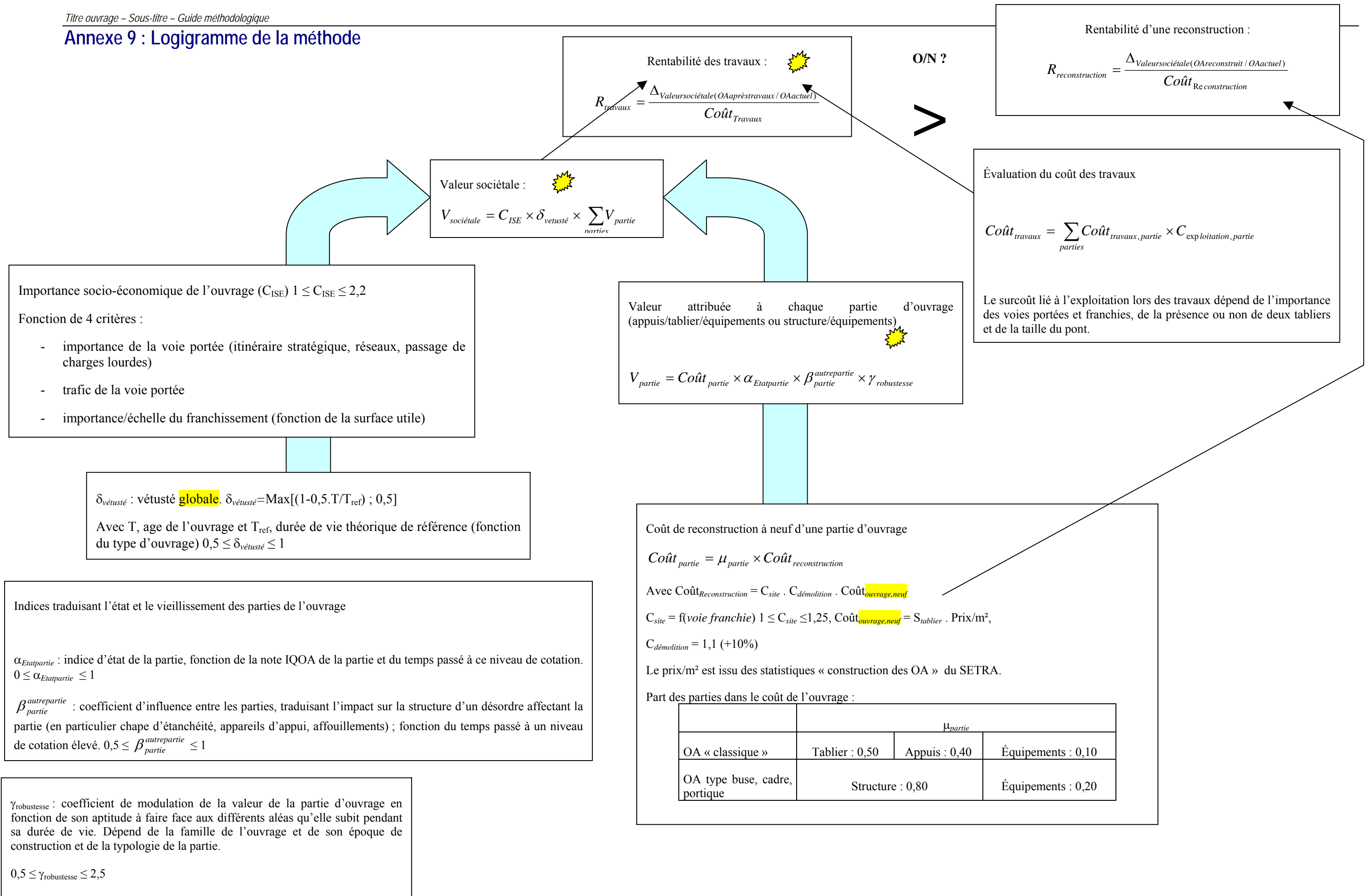
Robustesse (séisme avec affouillement constaté depuis plus de 10 ans)						
Pile		0,7	0,6	0,5	0,4	
Après 1996		Toutes piles				
Entre 1969 et 1996		Zone d'aléa très faible à modérée				
Avant 1969 ou avant 1996 et zone sismique élevée		Pont à une travée	Pont mixte à plusieurs travées sur néoprènes	Pont béton à plusieurs travées sur néoprènes	Pont en arc Pont béton à plusieurs travées sur appuis fixes	
Culée		H<7m		H>7m		

Autres remarques sur la robustesse :

Pour améliorer la prise en compte de la robustesse et du vieillissement dans le calcul de la valeur sociétale d'un ouvrage, il serait certainement souhaitable :

- - de considérer que les travaux de renforcements de la structure allongent la durée de référence de +30 ans
- Pour les équipements, on pourrait considérer les durées suivantes :
- peinture, garde-corps, dispositifs de sécurité : 40 ans,
 - étanchéité : 30 ans,
 - joints de chaussée : 5 à 10 ans suivant le trafic et le type de joint,
 - corniches : 50 ans.

Annexe 9 : Logigramme de la méthode



Annexe 10 : Application de la méthode à un patrimoine réel

Cette annexe a pour objectif de présenter un exemple d'application de la méthode de priorisation des actions de maintenance sur un patrimoine réel. Pour ce test, un patrimoine comportant environ 1100 ponts sur son réseau a été choisi.

L'exemple qui est présenté a également servi à calibrer les différents coefficients qui interviennent dans le calculs des valeurs sociétales et dans celui de la rentabilité des travaux.

La méthode utilisée pour l'évaluation des ouvrages est la méthode IQOA qui fournit une classe d'état pour chaque pont (1, 2, 2^E, 3 ou 3U).

Le test a été conduit dans l'optique d'une informatisation du processus, avec des données qui sont généralement disponibles chez tous les gestionnaires. Quelques simplifications ont donc été nécessaires afin de rendre le calcul entièrement automatique. Les données utilisées sont celles de la base Lagora et du gestionnaire du patrimoine utilisé.

Les principales simplifications qui ont été effectuées sont les suivantes :

- la robustesse n'a pas été détaillée par partie d'ouvrage. Un coefficient de robustesse unique a été affecté aux équipements, aux appuis et au tablier de chaque ouvrage ;
- il en est de même pour la vétusté. A noter que lorsqu'un ouvrage est réparé, sa durée de vie est augmentée artificiellement de 30 ans dans les calculs ;
- la décomposition du prix de l'ouvrage par parties a été prise forfaitairement à 10 % pour les équipements, 50 % pour le tablier et 40 % pour les appuis. Pour les ouvrages ne comportant pas d'appuis (buses) ou à fondation intégrée (cadres et portiques), ces ratios sont de 20 % pour les équipements et de 80 % pour le reste de la structure.
- lorsque seule la période de construction d'un ouvrage était connue, sa date de construction a été fixée à sa fourchette basse. Pour les ponts de date de construction inconnue, mais inférieure à 1850, l'année 1800 a été retenue.
- le coefficient C Site a été simplifié afin que son calcul soit automatique : les seuls paramètres pris en compte sont la nature de la voie franchie (Autoroute, route nationale, départementale ou communale, ou autre) et la portée (inférieure ou supérieure à 8 mètres) ;
- le coût des travaux à réaliser sur chaque ouvrage a été estimé de façon assez grossière en utilisant les résultats d'une enquête lancée par le Sétra en 1995. Cette enquête donne de façon statistique, par famille de ponts, le coût au mètre carré de tablier de remise en état d'un pont d'une classe IQOA donnée.

Dans les paragraphes suivants, sont présentés la nature du patrimoine testé, puis les résultats de l'étude.

Nature et consistance du patrimoine testé

Le patrimoine ayant servi aux tests est composé de 1100 ponts dont la composition est donné dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Répartition des ouvrages par type

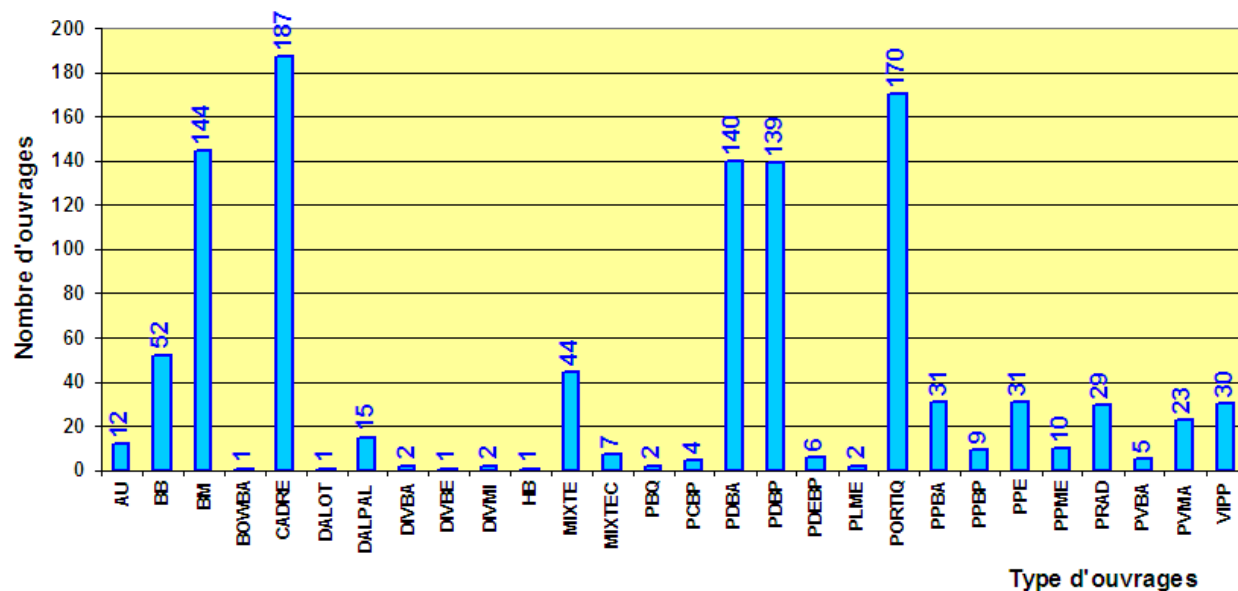


Figure 1 : Répartition des ouvrages par types

Les codes utilisés pour les types d'ouvrages sont les suivants :

Code	Type d'ouvrage	Code	Type d'ouvrage
ARC	Pont en arc	PCBP	Poutres caissons en béton précontraint
AU	Autre structure non associée à un matériau	PDBA	Pont dalle en béton armé
BB	Buse en béton	PDBP	Pont dalle ou dalle nervurée en béton précontraint
BM	Buse métallique	PLME	Poutres latérales treillis en métal (+ bow-string)
BOWBA	Bow-string en béton	PORTIQ	Portique simple ou double
CADRE	Cadre	PPBA	Poutres sous chaussée en béton armé
DIVBA	Autre structure en béton armé ou non armé	PPBP	Autres poutres sous chaussée ou nervures en béton précontraint
DIVBP	Autre structure en béton précontraint	PPE	Poutrelles enrobées
DIVMA	Autre structure en maçonnerie	PPME	Poutres sous chaussée/caisson en métal avec dalle non participante
DIVME	Autre structure en métal	PRAD	PRAD
DIVMI	Autre structure mixte	PROV	Pont provisoire
HB	Pont à haubans	PVBA	Pont voûté en béton
MIXTE	Poutres sous chaussée ou caisson en métal avec dalle participante	PVMA	Pont voûté en maçonnerie
MOB	Pont mobile	SUSP	Pont suspendu (dont suspendu et haubané)
ORTHO	Poutres sous chaussée/caisson en métal avec dalle orthotrope	VIPP	VIPP
PBQ	Pont à béquilles		

Tableau 1 : Codes des types d'ouvrages

Les ouvrages les plus nombreux sont les cadres et portiques en béton armé, ainsi que les ponts dalles en béton armé ou précontraint. Ils représentent à eux seuls 40% des ponts. Les buses métalliques sont également bien représentées.

L'état du patrimoine a été évalué selon la cotation de la méthode IQOA.

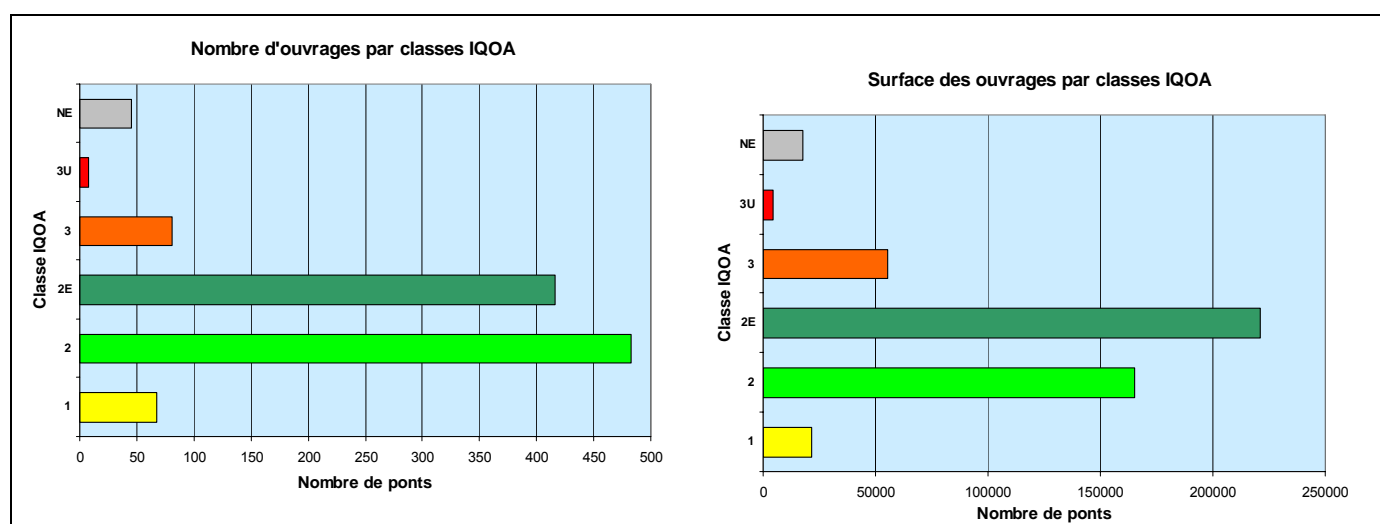


Figure 2 :Etat du patrimoine évalué en nombre d'ouvrages ou en surface de tablier

Classe	Nombre	Surface	Surface moy
1	67	21490	321
2	483	164881	341
2E	416	221037	531
3	81	55616	687
3U	8	4350	544
NE	45	17824	396
Total	1100	485197	

Rappelons le principe de la cotation IQOA dont les notes vont de 1 à 3U en fonction de la gravité des défauts qui affectent l'ouvrage :

- Classe 1 : ouvrage en bon état apparent
- Classe 2 : ouvrage ayant des défauts mineurs nécessitant un entretien sans caractère urgent
- Classe 2E : ouvrage ayant des désordres pouvant se développer rapidement dans la structure et nécessitant un entretien urgent
- Classe 3 : structure altérée nécessitant des travaux de réparation sans caractère urgent
- Classe 3U : structure gravement altérée nécessitant des travaux de réparation urgents
- NE : ouvrage non encore évalué

45 ponts seulement n'ont pas été évalués par le gestionnaire, principalement parce que certaines visites datent de plus de 3 ans. Le patrimoine ne comporte que 8 ponts classés 3U et 81 ponts classés 3. Ces ouvrages doivent subir des opérations lourdes de maintenance. La grande majorité des ponts est classé 2 ou 2E, et nécessite donc un simple entretien spécialisé.

La méthode IQOA comporte aussi une mention S qui indique un risque pour les usagers de la route et les tiers et la nécessité d'une intervention rapide pour rétablir la sécurité ; cette mention S n'est pas exploitée ici.

Pb de renvoi

Le patrimoine concerné est relativement jeune comme le montre la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; Une très forte proportion des ouvrages a moins de 50 ans et un peu plus de la moitié du patrimoine a un âge compris entre 20 et 50 ans.

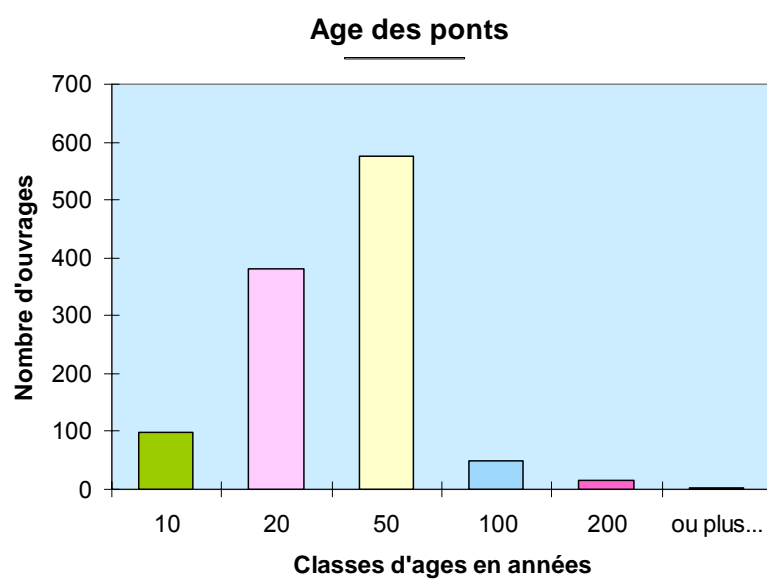


Figure 3 : Répartition des ponts par classes d'âge

Le tiers des ouvrages possède une surface comprise entre 100 et 200 m² (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) L'ouvrage le plus important mesure 9792 m² et le plus petit 22 m².

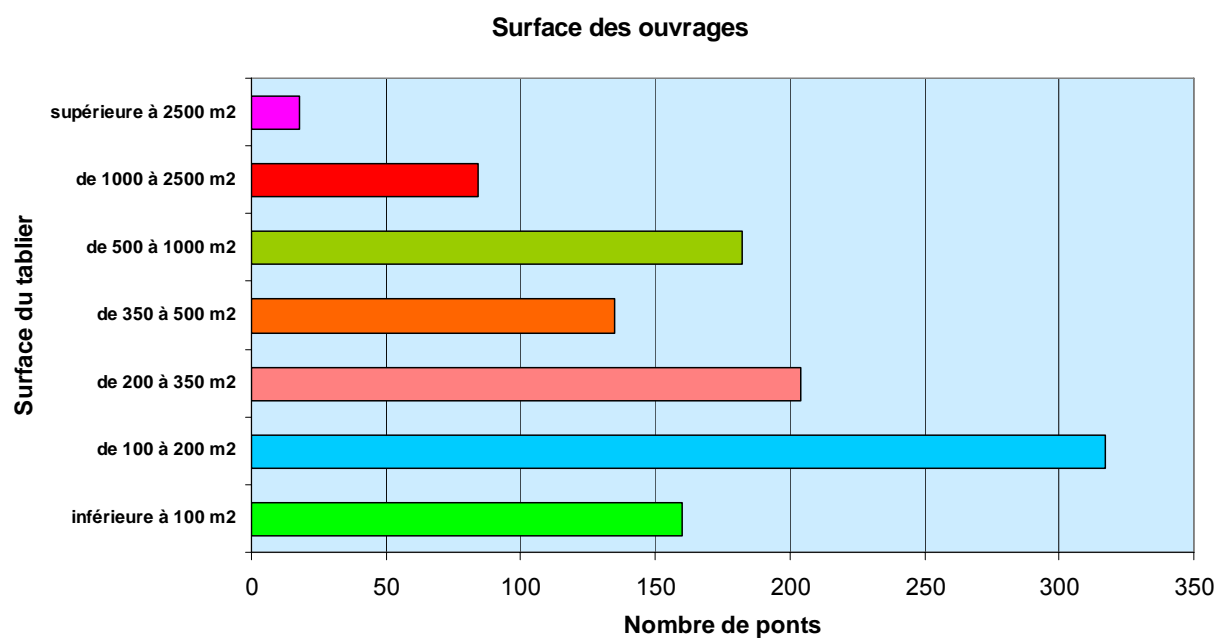


Figure 4 : Nombres d'ouvrages par classes de surface

Valeur sociétale des ouvrages

Les calculs des différentes valeurs sociétales ont été effectués avec les paramètres listés dans le texte. Le tableau fournit quelques données statistiques sur la valeur des coefficients intervenant dans le calcul des différentes valeurs sociétales. Le tableau donne les maximum, minimum, moyenne et écart type de ces différentes valeurs.

Valeur	Surface	Age	T _{Ref}	δ vétusté	γ Robustesse	C _{ISE}	C _{site}
Maxi	9792	169	1,10	0,99	1,50	2,12	1,10
Mini	22	2	1,00	0,50	0,50	1,07	1,00
Moyenne	441	28	1,036	0,820	0,907	1,605	1,036
Ecart type	670	18	0,048	0,100	0,169	0,237	0,048

Tableau 2 : Valeurs statistiques des différents coefficients de la valeur sociétale

Valeur	Coût ouvrage	V _{sociétale} (hors vétusté)	V _{sociétale}
Maxi	29 382 633	36 504 301	30 219 753
Mini	34 364	40 325	9 151
Moyenne	1 169 345	1 012 869	1 257 620
Ecart type	1 832 636	1 599 256	2 058 278

Tableau 3 : Statistiques sur les valeurs sociétales des ouvrages

On constate une forte dispersion des résultats, aussi bien pour l'estimation des coûts de travaux, que des valeurs sociétales ou de la rentabilité des travaux.

Le tableau 4 montre que l'ensemble des critères présentés dans la note méthodologique sur la méthode de programmation des travaux, est vérifié non seulement pour le patrimoine testé pris dans son ensemble, mais aussi pour les catégories regroupant les ponts classés 1 et 2 (bon état) ou 3 et 3U (mauvais état).

Tout le patrimoine DIR Nord				
V _{sociétale} actuelle totale	V _{sociétale} à neuf totale	V _{sociétale} OA entretenus totale	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} à neuf	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} OA entretenus
1 407 278 180	1 999 258 162	1 571 269 034	0,704	0,896
		Limites	0,50	0,80
		Vérifié	OK	OK

Ouvrages classés 1 et 2				
V _{sociétale} actuelle totale	V _{sociétale} à neuf totale	V _{sociétale} OA entretenus totale	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} à neuf	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} OA entretenus
1 035 127 278	1 483 170 858	1 154 553 639	0,698	0,897
		Limites	0,50	0,80
		Vérifié	OK	OK

Ouvrages classés 3 et 3U				
V _{sociétale} actuelle totale	V _{sociétale} à neuf totale	V _{sociétale} OA entretenus totale	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} à neuf	V _{sociétale} actuelle / V _{sociétale} OA entretenus
88 564 654	115 634 780	97 213 788	0,766	0,911
		Limites	0,50	0,80
		Vérifié	OK	OK

Tableau 4 : Vérification des critères de bonne gestion sur le patrimoine de la DIR Nord

Valeurs des différents paramètres utilisés dans les calculs

Pour déterminer les valeurs sociétales ainsi que le coût des travaux, les paramètres suivants ont été utilisés.

Paramètres relatifs aux coûts des familles d'ouvrages

Les familles retenues et les coûts forfaitaires de réparation sont les suivants :

prix/m ² € TTC année 2008		Classe de l'ouvrage					
Nom de la famille	Famille	1	2	3	2E	3U	NE
dalles béton armé	F1	0	0	270	155	620	270
poutres et nervures béton armé	F2	0	0	275	230	925	255
buses béton	F3	0	0	990	410	1150	440
buses métal	F4	0	0	335	70	950	275
dalles, nervures béton précontraint et PRAD	F5	0	0	105	40	170	70
poutres précontraintes post tension	F6	0	0	345	45	915	195
caissons béton précontraint	F7	0	0	195	75	275	95
maçonnerie	F8	0	0	1050	750	1300	750
métalliques	F9	0	0	320	60	385	220
mixte	F10	0	0	320	60	385	220
PPE	F11	0	0	265	90	405	140
ouvrages divers	F12	0	0	590	285	1395	390

Tableau 5 : Tableau des familles et de leurs coûts de réparation

Les différents types d'ouvrages, leurs codes, leurs ouvrages de remplacement (lorsqu'ils ne se construisent plus) et leurs coûts de construction au m² sont les suivants :

Type ouvrage LAGORA	Libellé	Matériau LAGORA	Code type ouvrage LAGORA	Code type ouvrage IQOA	Fiche IQOA	Famille	Ouvrage de remplacement	Prix /m ² en €TTC
ARC	Pont en arc		ARC	ARC	G	F12	ARC	2400
		BO	DIVBO	AU	B	F12	DIVBO	3200
		DV	DIVDV	AU	B	F12	DIVDV	3000
DV	Autre structure non associée à un matériau		AU	AU	Au choix	F12	AU	3500
---	(Sans)		AU	AU		F12	AU	2480
BB	Buse	BA, BE	BB	BB	F	F3	BB	1420
		ME	BM	BM	F	F4	BB	1420
BOW	Bow-string	BA, BP	BOWBA	BOWBA	B	F12	BOWBA	2500
CAD	Cadre		CADRE	CADRE	E	F1	CADRE	2900
DIV	Autre structure associée à un matériau	BA	DIVBA	DIVBA	B	F2	DIVBA	2500
		BE	DIVBE	DIVBA	B	F2	DIVBE	2500
DAL	Dalot		DALOT	DIVBA	Au choix	F1	DALOT	2260
DAP	Dalle encastrée sur palplanches		DALPAL	DIVBA	E	F1	DALPAL	2260
		BP	DIVBP	DIVBP	B	F5	DIVBP	2300
		MA	DIVMA	DIVMA	B	F8	DIVMA	2200
		ME	DIVME	DIVME	B	F9	DIVME	3200
PVV	Poutres sous chaussée métal avec vouîains		PVME	DIVME	B	F12	MIXTE	2330
		MI	DIVMI	DIVMI	B	F12	DIVMI	2500
HB	Pont à haubans		HB	HB	G	F12	HB	2800
MXP	Poutres sous chaussée métal avec dalle participante		MIXTEP	MIXTE	B	F10	MIXTE	2330

Type ouvrage LAGORA	Libellé	Matériau LAGORA	Code type ouvrage LAGORA	Code type ouvrage IQOA	Fiche IQOA	Famille	Ouvrage de remplacement	Prix /m ² en €TTC
PXC	Poutres caissons métal avec dalle participante		MIXTEC	MIXTEC	B	F10	MIXTEC	2530
MOB	Pont mobile		MOB	MOB	G	F9	MOB	3200
ORT	Poutres sous chaussée métal avec dalle orthotrope		ORTHOP	ORTHO	B	F9	ORTHO	2650
POC	Poutres caissons métal avec dalle orthotrope		ORTHOC	ORTHOC	B	F9	ORTHO	2850
PBQ	Pont à béquilles		PBQ	PBQ	G	F12	PBQ	2300
PCB	Poutres caissons BP par post-tension		PCBP	PCBP	C	F7	PCBP	2050
PDB	Pont dalle ou dalle nervurée	BA	PDBA	PDBA	A	F1	PDBA	2260
		BP	PDBP	PDBP	A	F5	PDBP	2080
DAE	Dalle élégie		PDEBP	PDBP	A	F5	PDBP	2450
		ME	BOWME	PLME	B	F12	PLME	3000
PLT	Poutres latérales treillis		PLME	PLME	B	F9	PLME	2650
POR	Portique simple ou double		PORTIQ	PORTIQ	E	F1	PORTIQ	2810
PBA	Poutres sous chaussée ou nervures BA		PPBA	PPBA	B	F2	PDBP	2080
PPBP	Autres poutres sous chaussée BP (hors caissons)		PPBP	PPBP		F6	PDBP	2080
PPE	Poutrelles enrobées		PPE	PPE	B	F11	PPE	1690
PCD	Poutres sous chaussée métal dalle non participante		PPME	PPME	B	F10	MIXTE	2330
PCM	Poutres caissons métal avec dalle non participante		PCME	PPME	B	F10	MIXTE	2800
PRC	PRAD Caissons		PRADC	PRAD	B	F5	PRAD	2230
PRP	PRAD Poutres		PRADP	PRAD	B	F5	PRAD	2030
PRV	Pont provisoire (dont VMD)		PROV	PROV	G	F9	PROV	1500
		BA,BE	PVBA	PVBA	D	F12	PDBA	2260
		BA,BE	PVBAE	PVBA	D	F12	PDBA	2260

Type ouvrage LAGORA	Libellé	Matériau LAGORA	Code type ouvrage LAGORA	Code type ouvrage IQOA	Fiche IQOA	Famille	Ouvrage de remplacement	Prix /m ² en €TTC
PV	Pont voûté	MA	PVMA	PVMA	D	F8	PDBA	2260
PVE	Pont voûté élargi	MA	PVMAE	PVMA	D	F8	PDBA	2260
SUS	Pont suspendu		SUSP	SUSP	G	F12	HB	2800
VIP	VIPP		VIPP	VIPP	B	F6	MIXTE	2330

Tableau 6 : Types d'ouvrages, code et ouvrages de remplacement

Le coefficient de démolition permettant de calculer le coût de reconstruction a été pris à 1,1 dans les calculs.

Le coefficient C_{ise}

Le coefficient K_{ise} de l'indice socio-économique est construit comme dans la note méthodologique selon 4 critères A, B, C et D avec des coefficients identiques :

$$K_{ise} = 0,35 A + 0,3 B + 0,15 C + 0,2 D$$

Une base de donnée contenant les notations A (importance stratégique de l'itinéraire) et B (niveau de trafic) pour chaque portion de route du réseau du patrimoine étudié a été utilisée

Ainsi, par identification de la portion de voie portée par l'ouvrage, il a été possible de lui attribuer les notes A et B correspondantes. La note C (importance du franchissement) a été attribuée en fonction de la surface du tablier, comme il est expliqué dans la note méthodologique. La note D (conséquences sur le niveau de service en cas de réparations) a été donnée selon la classification suivante:

CRITERE D		Niveau de trafic (note B)				
Type de profil en travers	code	1	2	3	4	5
Chaussées séparées plus de 2x4 voies	1	1	1	3	4	5
Chaussées séparées 2x4 voies	2	1	1	3	4	5
Chaussées séparées 2x3 voies	3	1	2	4	5	5
Chaussées séparées 2x2 voies	4	1	2	4	5	5
Chaussées séparées 2x1 voie	5	2	3	4	5	5
Chaussée unique 1 voie	6	2	3	4	5	5
Chaussée unique 2 voies < 7 m	7	2	3	4	5	5
Chaussée unique 2 voies >= 7 m	8	2	3	4	5	5
Chaussée unique 3 voies < 10.50m	9	2	3	4	5	5
Chaussée unique 3 voies >= 10.50m	10	2	3	4	5	5
Chaussée unique 4 voies	11	2	3	4	5	5

Tableau 7 Note D selon le profil en travers des voies et de leurs trafics

Le coefficient C_{ise} correspond à la racine carrée du coefficient K_{ise} .

$$C_{ise} = \sqrt{K_{ise}}$$

Conclusion

Cette étude, menée sur un patrimoine réel, a permis d'affiner la valeur de certains coefficients numériques pour un patrimoine composé d'ouvrages situés sur le réseau national.

Elle montre que la méthode proposée peut constituer une aide efficace pour les gestionnaires dont le patrimoine est important en nombre.

Les pistes d'améliorations sont les suivantes :

- automatisation du coefficient d'indice socioéconomique en fonction notamment de l'itinéraire, du trafic et de quelques paramètres supplémentaires.
- affinage des coûts de réparation en prenant en compte différents scénarios calculés à partir du type d'ouvrage et de la partie d'ouvrage en mauvais état.

Le texte de la note de contexte

Rédacteurs

Gilles Lacoste–SETRA
téléphone : 33 (0)1 46 11 32 92 – télécopie : 33 (0)1 45 36 83 92
mél : gilles.lacoste@developpement-durable.gouv.fr

Pierre Corfdir–SETRA
téléphone : 33 (0) 3 87 20 46 10– télécopie : 33 (0) 3 87 20 46 49
mél : pierre.corfdir@developpement-durable.gouv.fr

