

# Gestion durable du patrimoine des ouvrages de génie civil de la filière eau

## Sustainable asset management of concrete infrastructure in the water sector

■ D. SAVOYE<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> Altereo - G2C Ingénierie - Venelles

**Mots-clés :**  
Gestion patrimoniale  
Surveillance  
Maintenance  
Pathologie  
Diagnostic  
Réhabilitation  
Ouvrage  
Béton

**RÉSUMÉ** La gestion patrimoniale des ouvrages de génie civil de la filière eau est un sujet d'actualité et en devenir en France. L'importance du patrimoine sur le territoire hexagonal et ultramarin, sur les plans immobilier, fonctionnel et économique, revêt des enjeux fondamentaux. La valeur économique du patrimoine pèse, hors eaux pluviales, près de 46 milliards d'euros. Il vieillit et se dégrade. Le développement d'outils de surveillance et d'évaluation à différentes échelles est donc aujourd'hui au cœur des préoccupations des différents gestionnaires. Ils doivent permettre de diagnostiquer et de réhabiliter de façon durable. La pathologie recensée sur les ouvrages est très diversifiée. Elle n'intéresse pas forcément que la structure en béton ou en maçonnerie, mais également les aspects géotechniques des fondations et les conditions d'exploitation. De nouvelles problématiques sont apparues depuis deux décennies telles que la présence d'amiante ou d'équipements de radio-émission sur les ouvrages (locaux, toitures). La mise en œuvre d'une politique de gestion patrimoniale des ouvrages de génie civil dans une optique de développement durable et de préservation des ouvrages pour les générations futures est une démarche vertueuse, mais longue et fastidieuse. La conduire avec méthode permet d'anticiper et donc de gérer plus efficacement.

**Keywords:**  
Asset management  
Monitoring  
Maintenance  
Pathology  
Diagnosis  
Rehabilitation  
Tank  
Concrete

**ABSTRACT** The asset management of concrete infrastructure in the public water sector is a present and upcoming topic in France. The extensity of such assets on the French metropolitan and ultra-marine territories represents major issues in terms of real estate, technical functionality and economy. The economic value of the heritage weighs, excluding rainwater, nearly 46 billion euros. Asset age and deteriorate. The development of monitoring and evaluation tools at various scales is a central concern for utility managers today. These tools must enable diagnosis and rehabilitation aimed at durability. Pathologies observed on concrete infrastructure are diverse. They do not only pertain to the concrete structure itself but also concern geotechnical aspects of foundations and operational conditions. New issues have surfaced in the last two decades with the presence of asbestoses or equipment of radio emissions on the works (technical rooms, roofs). The implementation of a concrete infrastructure asset management strategy aiming towards sustainability and preservation of the interests of the works for the future generations is a virtuous endeavour but it is long and demanding. Driving this strategy with a robust methodology enables anticipation and better efficiency.

## Introduction

Le patrimoine français des ouvrages de génie civil de la filière comprend plusieurs dizaines de milliers d'ouvrages et il s'en construit encore chaque année. Malgré une prédominance des réservoirs d'eau potable, estimés à plus de 40 000 unités, il faut aussi compter les stations de traitement ou de potabilisation, les installations d'épuration des eaux usées, les postes de relevage et tous les ouvrages qui relèvent, d'une manière générale, du fascicule 74 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG) nouvellement intitulé « Construction des réservoirs en béton et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie ». Le thème de la performance

des réseaux est aujourd'hui au-devant de la scène. Peut-on parler sur le même plan de la performance des ouvrages de génie civil ?

## 1. Qu'est-ce que la performance des ouvrages de génie civil ?

Un ouvrage de génie civil performant est déjà un ouvrage de génie civil durable. Le fascicule 74 du CCTG définit la durabilité comme la capacité d'un ouvrage à assurer ses fonctions, de telle sorte que sa détérioration, pendant sa durée d'utilisation, n'abaisse pas ses performances escomptées, compte tenu de l'environnement et du niveau de maintenance prévu. Au sens européen, et notamment des Eurocodes, la durée d'utilisation d'un ouvrage de génie civil courant (classe S4) est au minimum 50 ans. Le constat qui peut être fait assez réguliè-

\* Auteur correspondant - Courriel : d.savoye@altereo.fr

rement en France à travers l'activité d'Altereo dans ce domaine est qu'il existe de nombreux ouvrages d'âge nettement inférieur qui présentent déjà de sérieux dysfonctionnements.

Un ouvrage de génie civil de la filière eau performant est un ouvrage durable et fonctionnel. Il doit remplir efficacement sa fonction, par exemple contenir de l'eau ou du liquide, sans pertes. Altereo a déjà été amené à intervenir sur des réservoirs perdant jusqu'à la moitié de leur capacité en une journée.

La performance se juge également par la sécurité apportée par l'ouvrage tant du point de vue des conditions d'exploitation (la sécurité interne) que vis-à-vis des tiers (sécurité externe). On trouve des réservoirs sur tour dans certaines villes à proximité immédiate de la chaussée, juste au-dessus du trottoir. Lorsque ces ouvrages se dégradent, cela nécessite parfois de mettre en place des périmètres de sécurité.

Enfin, un ouvrage performant est un ouvrage dont l'exploitation est aisée et économiquement raisonnable (figure 1).

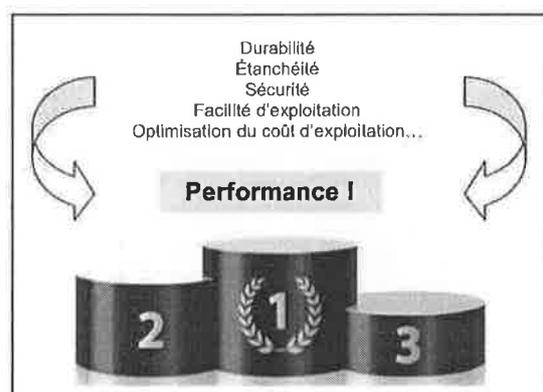


Figure 1. Critères de performance des ouvrages de génie civil de la filière eau

## 2. La pathologie relève de trois grandes familles de défauts

### 2.1. Défauts de conception ou d'exécution

Les défauts de conception ou d'exécution sont les plus répandus, représentent environ 60% de l'ensemble de la pathologie et sont illustrés par la figure 2. Ils découlent à la fois du travail du maître d'œuvre, des bureaux d'études spécifiques (géotechnique, structure) et de l'entreprise de travaux.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Pour en savoir plus : SAVOYE D. (2018) : « Ouvrages en béton de réception, transfert, traitement ou stockage de l'eau ou des liquides - Spécifications des bétons et revêtements. » Techniques de l'ingénieur Gestion de l'eau ; c3672.

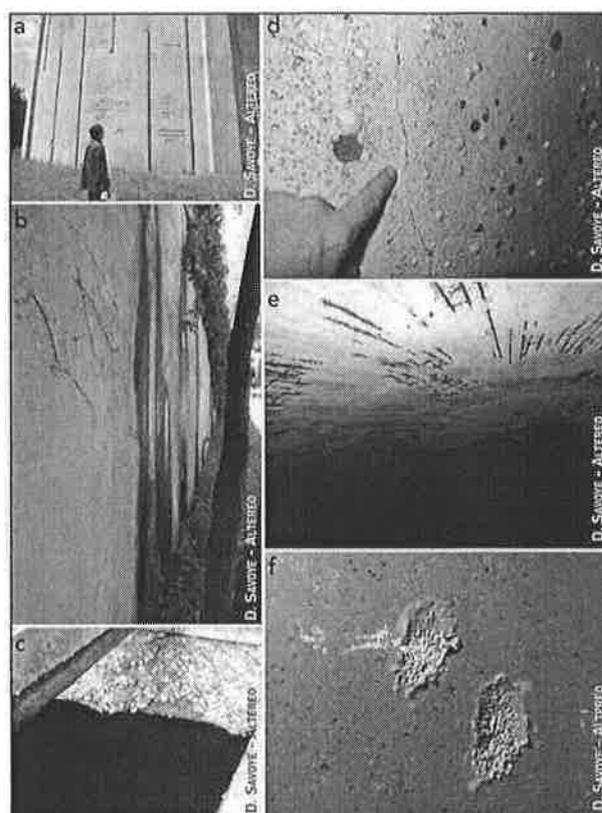


Figure 2. Défauts de conception et d'exécution : a) défauts d'enrobage des armatures passives sur réservoir en béton précontraint ; b) exemple de fuites significatives sur un réservoir ; c) attaque acide sur le béton liée à la présence de gaz H<sub>2</sub>S ; d) revêtement d'imperméabilisation qui fissure et cloque parce que non adapté ou mal appliqué ; e) armatures apparentes en sous-face de coupole de réservoir - défaut récurrent ; f) action dissolvante du chlorure de calcium sur paroi béton

La corrosion chimique et, de manière souvent prépondérante, biochimique, est à l'origine de ce phénomène de l'attaque acide des bétons dans les ouvrages d'assainissement tel que présenté dans la figure 2c. La quantité de sulfates disponibles dans l'effluent ainsi que les temps de séjour dans les ouvrages sont des facteurs prépondérants. Il s'agit d'une pathologie récurrente aujourd'hui en France sur les réseaux d'assainissement et les installations d'épuration des eaux usées, y compris les plus récentes. La spécification des bétons pour les ouvrages d'assainissement reste bien souvent inadaptée ou incomplète par méconnaissance du contexte normatif et des recommandations professionnelles.

### 2.2. Défauts de vieillissement

Les défauts de vieillissement représentent environ 20% de l'ensemble de la pathologie. Ils sont illustrés par la figure 3.

Les revêtements d'étanchéité de toiture n'ont jamais la même durabilité que la structure de l'ouvrage lui-même et il faut régulièrement les renouveler, tous les 15 ou 20 ans en moyenne. ►

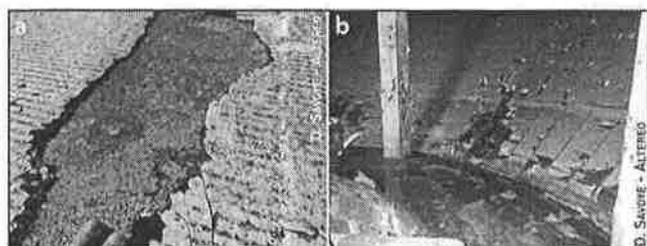


Figure 3. Défaits de vieillissement : a) détérioration des étanchéités de toiture ; b) détérioration de revêtement bitume-aluminium à l'intérieur d'une cuve

- La présence de revêtements bitume-aluminium à l'intérieur des cuves est assez rare, mais elle existe encore de nos jours. Le bitume-aluminium ne bénéficie pas d'une attestation de conformité sanitaire (ACS). Il s'agit d'un détournement d'usage opéré à partir des années 1960 d'un matériau destiné initialement aux toitures-terrasses. Cela s'est beaucoup pratiqué dans les années 1960 alors que l'usage du bitume-aluminium était courant sur les immeubles. Aujourd'hui, la détérioration de l'aluminium présente un risque de santé publique. De plus, certains revêtements bitume-aluminium sont aussi amiantés et présentent aujourd'hui une double problématique.

### 2.3. Défaits accidentels

Les défauts accidentels représentent aujourd'hui environ 20% de l'ensemble de la pathologie. Il s'agit souvent de défauts liés à une cause extérieure à l'ouvrage. Ils sont illustrés par la figure 4.

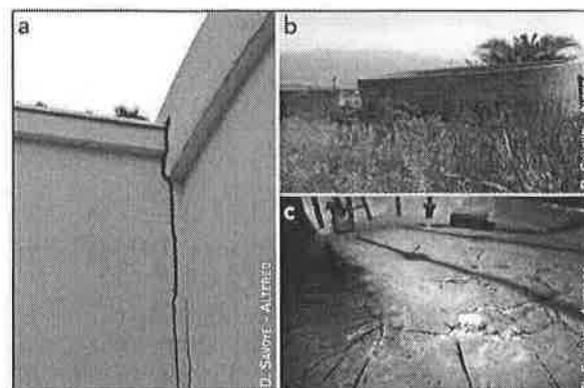


Figure 4. Défaits accidentels : a) tassement différentiel entre bâtiment et cuve, une observation courante ; b) tassement général de l'ouvrage ; c) éclatement du radier par poussée d'Archimède due à une remontée de nappe

D'une manière générale, les principaux désordres rencontrés sur les ouvrages de la filière eau sont répertoriés dans le tableau I.

## 3. Les problématiques supplémentaires

### 3.1. L'amiante

À ces défauts se rajoutent d'autres problématiques telles que l'amiante. Dès qu'un réservoir construit avant 1997 est réhabilité, une recherche de produits susceptibles de contenir de l'amiante et un diagnostic avant travaux est obligatoire. Selon la complexité de la construction, par exemple si l'amiante se trouve dans le

Nature du désordre	Fréquence	Ouvrages concernés
Corrosion d'armatures	Fréquent	Tous
Cloquage ou décollement des revêtements intérieurs	Fréquent	Toutes les cuves revêtues
Dégradation étanchéité couvertures	Fréquent	Réservoirs, usines
Écaillage du béton	Moyennement fréquent	Tous
Épaufrure de béton	Très fréquent	Tous
Fissures	Très fréquent	Tous
Fuites ou suintements	Fréquent	Tous
Lixiviation (dissolution des constituants calciques)	Fréquent	Ouvrages d'alimentation en eau potable si eau douce (titre hydrométrique faible)
	Très fréquent	Ouvrages d'assainissement (H <sub>2</sub> S)
Réactions de gonflement interne	Rare	Ouvrages concernés
Tassements différentiels	Moyennement fréquent	Ouvrages concernés

Tableau I. Principaux désordres rencontrés sur les ouvrages de la filière eau<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Pour en savoir plus :

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (1994) : *Recommandations pour la prévention des désordres liés à l'alcali-réaction*.

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (2007) : *Recommandations pour la prévention des désordres liés à la réaction sulfatique interne*.

mortier en dessous du revêtement bitume-aluminium, le coût du désamiantage peut aller jusqu'à doubler le coût des travaux.

### 3.2. Les équipements de radio-émission

Les réservoirs n'ont pas pour fonction d'origine de servir de support à ce type d'équipements. Ils sont parfois très denses sur les couvertures (figure 5) et compliquent fortement les interventions de réhabilitation à la fois par l'encombrement qu'ils génèrent et par la difficulté à les mettre hors service pendant les travaux.

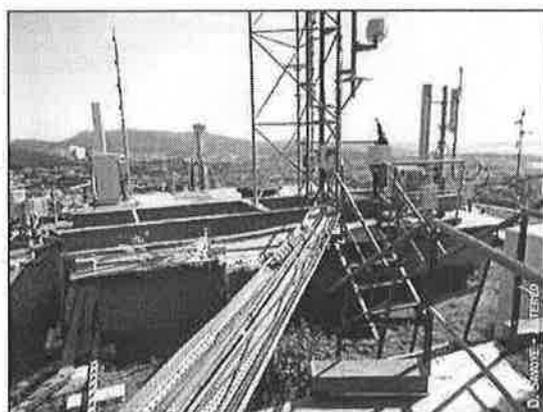


Figure 5. Toiture d'un réservoir encombré d'antennes de téléphonie mobile

La plupart des ouvrages ont été conçus depuis les années 1950 jusqu'à ce jour avec une prévision de surcharge d'exploitation sur la toiture de 1 kN/m<sup>2</sup>. Les équipements de radio-émission peuvent apporter des surcharges jusqu'à 5 kN/m<sup>2</sup> et sont mis en œuvre sans que personne ne vérifie la capacité portante de l'élément de structure sur lequel ils sont installés. Ils posent également un problème de santé publique au regard des ondes qu'ils émettent. Le nouveau fascicule 74 du CCTG émet des prescriptions importantes dans la prise en compte de ces équipements.

On observe donc aujourd'hui, chez certains gestionnaires, une tendance à enlever ces équipements et à les installer à côté des ouvrages sur des mâts séparés.

La problématique concerne également les faisceaux de câbles qui sont parfois implantés au travers d'équipements existants comme le montre la figure 6. L'implantation des antennes GSM, faisceaux hertziens et câbles de raccordement, est souvent non judicieuse, que ce soit vis-à-vis des efforts parasites sur la structure, de la dégradation des étanchéités de toiture ou de la contrariété de l'écoulement des eaux pluviales. Accéder au toit ou changer l'échelle devient parfois problématique. Il faut également signaler que ces installations impli-

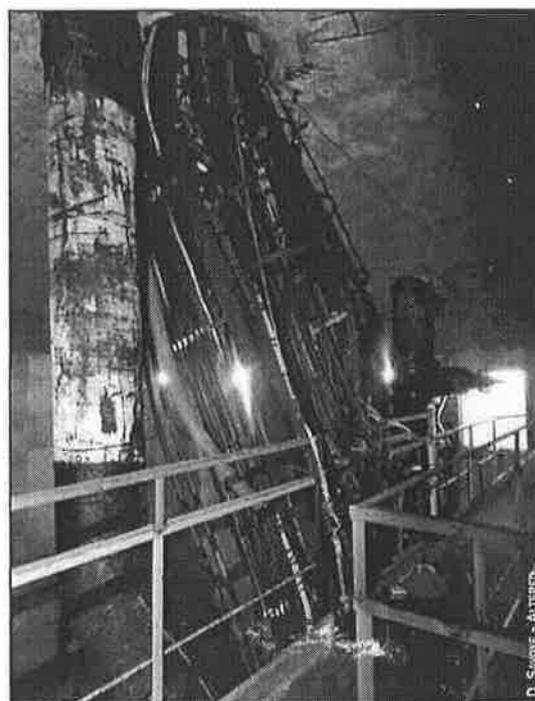


Figure 6. Échelle quasi invisible au sein d'un faisceau de câbles

quent sur les réservoirs d'eau potable de donner l'accès à l'eau aux opérateurs, surtout quand les câbles passent par l'intérieur. Cette situation n'est absolument pas souhaitable du point de vue sécuritaire, surtout en période Vigipirate Sécurité renforcée - Risque attentat.

## 4. La surveillance du patrimoine

Il est important de comprendre que la mise en œuvre d'un système de surveillance à l'échelle du patrimoine est un élément essentiel et que cela constitue le préambule de toute démarche pertinente de gestion patrimoniale. Il en va des ouvrages de la filière eau comme des ouvrages d'art (figure 7).

La surveillance des ouvrages doit répondre à quatre principes : un principe de simplicité, c'est-à-dire que la surveillance ne doit pas nécessiter de moyens lourds ni de compétences très importantes, mais elle doit tout être considérée comme un système lanceur d'alertes. Le second principe est celui du formalisme, un ouvrage « surveillé » doit toujours être évalué dans son ensemble et par parties et toujours de la même façon en intérieur et en extérieur (prises de notes, fiches, couverture photographique). En troisième lieu, la surveillance doit répondre à un critère de périodicité, une fréquence annuelle semblant *a priori* un bon compromis, mais celle-ci peut varier en fonction de l'état initial des ouvrages. Et, enfin, la surveillance du patrimoine, qui s'inscrit obligatoirement dans la durée, exige une traçabilité.



Figure 7. Étaieage d'urgence d'une bache d'eaux traitées dans une usine, au-dessus de laquelle se trouvent des bureaux occupés

L'intérêt de la surveillance est avant tout économique. La figure 8 exprime l'intérêt économique de la surveillance des ouvrages basé sur de nombreux retours d'expérience en France. Elle montre qu'il est dans tous les cas économiquement plus intéressant de mener de petites opérations régulières de réhabilitation des ouvrages à des périodes appropriées et à une fréquence relativement régulière plutôt que d'attendre l'atteinte d'un état limite ou irréversible. En effet, ce dernier conduit souvent à remettre en cause la pertinence d'une réhabilitation qui se trouve parfois dénuée de sens sur le plan économique, tant le montant des investissements à entreprendre est élevé. Bien évidemment, la fréquence d'intervention dépend de la qualité intrinsèque de l'ouvrage, c'est aussi ce que montre le schéma avec trois cas différents.

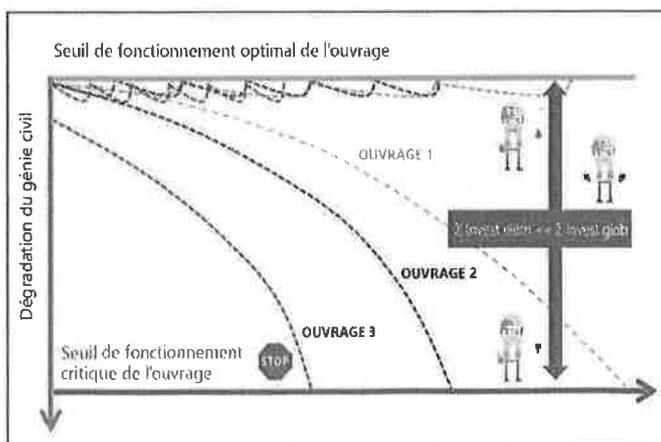


Figure 8. Intérêt économique de la surveillance des ouvrages

La surveillance permet de mettre en évidence la pathologie, de suivre le cas échéant son évolution, d'appréhender les risques pour l'exploitant ou les tiers, de pro-

grammer des opérations d'entretien et de maintenance courantes et surtout de déclencher des opérations de diagnostic.

## 5. Le diagnostic d'un ouvrage ou d'un patrimoine d'ouvrages

Le diagnostic est un préalable indispensable à toute réhabilitation des ouvrages de génie civil de la filière eau. Il doit dans tous les cas déterminer la cause et donc l'origine des différentes natures de désordres. Le diagnostic ne saurait cependant être conduit sans lui fixer au préalable des objectifs précis et atteignables. Il est affaire de spécialiste.

La norme NF P 40-600-2 a défini le diagnostic comme l'« action de relever, dimensionner, désigner les défauts apparents majeurs, et d'en identifier les origines ». Il est essentiel de comprendre l'origine des désordres afin que la préconisation de travaux soit fiabilisée. Procéder autrement conduit à coup sûr à « réparer la réparation ». Malheureusement, on constate aujourd'hui en France encore de trop nombreuses réhabilitations d'ouvrages non fiabilisées.

Il est fondamental de considérer que chaque ouvrage est un cas particulier de par son site d'implantation, sa conception, sa construction, ses modalités d'exploitation. En ce sens, il ne saurait y avoir d'investigations génériques. Celles-ci doivent être ciblées au cas par cas, non seulement pour répondre aux questions qui ne trouvent pas de réponse dans l'examen visuel, mais également pour optimiser les dépenses en matière d'auscultation ou d'instrumentation.

L'analyse des dossiers de récolement ne doit jamais être négligée, car elle est susceptible d'apporter une aide précieuse dans l'interprétation de la pathologie.

L'optimisation des dépenses de diagnostic implique dans tous les cas de procéder par étapes, sous forme de zoom. Sur un ouvrage donné, il est par exemple particulièrement inopportun de commencer à étudier la microstructure du matériau (microscope électronique à balayage) avant même d'essayer de relever visuellement les principaux désordres apparents majeurs.

Il convient de toujours respecter une gradation dans les opérations de diagnostic en partant du simple état des lieux visuel (sans forcément déterminer les origines des désordres), en passant par le diagnostic visuel simplifié, le diagnostic visuel détaillé, l'auscultation et l'instrumentation de structure, le diagnostic géotechnique, le calcul de l'ouvrage, les études particulières de type confortement, renforcement ou démolition.

Toutes les étapes ne doivent pas forcément être conduites. Il appartient à l'ingénieur chargé d'opération ou à l'ingé-

neur diagnosticien de définir les investigations strictement nécessaires à l'atteinte des objectifs poursuivis.<sup>4</sup>

### 5.1. Le diagnostic visuel simplifié à l'échelle du patrimoine

Ce type d'investigations qui ne conduit pas forcément à comprendre la pathologie trouve son intérêt dans la fourniture d'une vision d'ensemble au gestionnaire, avec une hiérarchisation des ouvrages qui peut être multicritère, une priorisation des actions à prévoir, qu'il s'agisse d'investigations en matière de diagnostic complémentaire ou de travaux en distinguant l'aménagement du site, les réparations de structure ou l'amélioration des conditions d'exploitation. À titre d'exemple, Altereo a réalisé ces dernières années le diagnostic visuel simplifié d'une trentaine de réservoirs pour la Communauté urbaine Creusot Montceau (2013, environ 35 k€ HT sans vidange des cuves), une soixantaine de réservoirs pour le Syndicat de production Eau du Morbihan (EDM) (2015, environ 60 k€ HT), une quarantaine de réservoirs pour le Syndicat de gestion des eaux du Brivadois (2017, environ 50 k€ HT).

Pour ce qui concerne la Communauté urbaine Creusot Montceau, des échéances de court terme, de moyen terme et de long terme ont été données (tableau II).

EDM a intégré les résultats dans son système d'information géographique (figure 9), ce qui lui permet de suivre en temps réel l'état du patrimoine et d'effectuer, par exemple, des requêtes par nature de désordres ou nature de travaux. À la suite de ce diagnostic, EDM a élaboré un programme de travaux sur 4 ans sur la période 2016-2019 portant sur les huit ouvrages prioritaires mis en évidence dans le cadre du diagnostic pour un montant global d'opération de 2 M€ HT.

Pour ce qui concerne le Syndicat de gestion des eaux du Brivadois, sur 42 réservoirs dont huit bi-cuves, sept ouvrages ont été déclarés comme devant faire l'objet de diagnostics approfondis dans un délai relativement

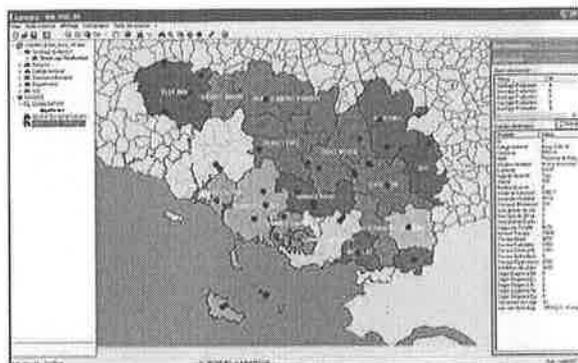


Figure 9. Exemple de rendu issu du système d'information géographique de l'ensemble des données du diagnostic du patrimoine des réservoirs d'eau du Morbihan

court, le budget minimal global de remise à niveau de l'ensemble du patrimoine étant évalué à 1,7 M€ HT.

### 5.2. Le diagnostic visuel détaillé d'un ouvrage

Ce diagnostic visuel détaillé va s'intéresser davantage à la cartographie précise des désordres et à la compréhension de leurs origines. Il comprend de la préconisation argumentée, de l'avant-métré précis, du chiffrage détaillé, peut contenir l'élaboration de plans et peut aborder déjà les contraintes de la réhabilitation. Un diagnostic visuel détaillé peut coûter selon la complexité et les dimensions de l'ouvrage entre 5 et 50 k€ HT, voire très au-delà, par exemple lorsqu'il s'agit d'une usine comportant de multiples ouvrages.

L'étape suivante peut parfois être la phase travaux sans que des investigations plus poussées ne soient nécessaires. Dans d'autres cas, un choix argumenté d'investigations complémentaires est proposé au maître d'ouvrage.

### 5.3. Les investigations complémentaires

Les investigations complémentaires ne sont pas systématiques, mais sont décidées en fonction du diagnostic visuel ou d'une visite préliminaire. Il peut s'agir d'auscultation, d'instrumentation, d'études géotechniques, d'essais ou d'analyses en laboratoire. Les nouvelles technologies permettent également de faire du scan 3D (figure 10), de la photographie 3D pour visite virtuelle ou encore de l'inspection par drone (figure 11).

<sup>4</sup> Pour en savoir plus : ITBTP (INSTITUT TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS) (1995) : « Pathologie et réparation des ouvrages en béton de stockage et de transport des liquides - Première partie ». Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics.

Échéance	Investigations complémentaires	Aménagements de site	Réparations de structure	Sécurité des conditions d'exploitation	Total
Moins de 3 ans	89 000 €	60 000 €	209 000 €	206 500 €	564 500 €
Entre 3 et 8 ans	—	29 000 €	345 500 €	—	374 500 €
Plus de 8 ans	—	1 000 €	150 500 €	—	151 500 €

Tableau II. Approche économique des investissements nécessaires sur le court, le moyen ou le long terme



Figure 10. Scan 3D en extérieur sur réservoir sur une tour de 52 m de hauteur



Figure 11. Photographie par drone de la coupole d'un réservoir sur une tour

Dans tous les cas, les investigations complémentaires doivent être encadrées, compilées et interprétées afin d'aboutir à une cohérence d'ensemble du diagnostic réalisé par le bureau d'étude spécialisé.

Les méthodes d'investigations et les outils correspondants relèvent de quatre catégories (tableau III).<sup>5</sup>

## Conclusion

Les structures en béton armé, en béton précontraint ou en maçonnerie constituant les ouvrages de génie civil de la filière eau subissent l'usure du temps et se dégradent plus ou moins rapidement en fonction de la qualité de la conception ou de la construction.

Les gestionnaires doivent poursuivre leurs efforts pour une meilleure connaissance de leur patrimoine et s'engager dans une démarche vertueuse de surveillance. Peu importe que cette démarche soit longue et contra-

riée par un contexte économique parfois contraint. L'important est de la démarrer et de ne plus l'interrompre. La réhabilitation du patrimoine passe par des opérations de diagnostics techniquement ciblées et financièrement optimisées, sans lesquelles aucune préconisation ne saurait être fiabilisée. Les prestations de diagnostic et les travaux doivent être confiés à une ingénierie et à des entreprises hautement qualifiées et bénéficiant d'un retour d'expérience probant. Ce n'est qu'à cette condition que la durabilité du patrimoine peut être assurée.<sup>6</sup>

## Bibliographie

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES GÉNÉRALES (CCTG) – Nouveau fascicule 74 : « Construction des réservoirs en béton et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie. » [à paraître].

<sup>5</sup> Pour en savoir plus : AFGC (ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL), CEFRACOR (CENTRE FRANÇAIS DE L'ANTICORROSION) : (2003) : *Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion*.

<sup>6</sup> À noter que doit paraître, en 2019, aux Éditions Techniques de l'Ingénieur, « Ouvrages en béton de réception, transfert, traitement ou stockage de l'eau ou des liquides – Pathologie, diagnostic et réhabilitation ». Cette publication établit un constat sur la pathologie qui affecte le patrimoine national et fait le point sur l'état de l'art en termes de diagnostic et de réhabilitation.

Méthodes	Exemples d'outils
Diagnostic visuel	Outils de description : perception visuelle, télémètre, appareil photo et vidéo, jumelles, fil à plomb, niveau à bulle, règle...
Auscultation	Outils : carotteuse, perforateur, sonde électromagnétique, pied à coulisse, radar, corrosimètre, extractomètre, ausculteur dynamique, phénolphtaléine...
Instrumentation	Outils : capteurs de déplacement, enregistreurs, inclinomètres...
Essais de laboratoire	Résistance à la compression du béton, détermination de la densité porosité, identification de liant, détermination du dosage en liant, détermination du rapport eau efficace/ciment, dosages des sels solubles (par exemple, chlorures et sulfates), détermination des néoformations et identification des réactions de gonflement interne (RGI) au microscope électronique à balayage, détermination de la nature d'un revêtement, détermination de la soudabilité des armatures...

Tableau III. Diagnostic des ouvrages : méthodes d'investigations et outils correspondants