

Remise en état d'ouvrages en béton armé : généralités

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **66 (1998)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146458>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Réfection d'un pont en béton.

Photo: archives TFB

Remise en état d'ouvrages en béton armé: généralités

Relevé de l'état, évaluation de l'état, recommandation d'intervention et étude d'intervention sont autant d'étapes importantes sur le chemin menant au succès d'une remise en état d'ouvrages en béton armé.

Si sa composition est correcte et qu'il a été fabriqué dans les règles de l'art, le béton est un matériau durable, ce que prouvent par exemple des examens effectués en Allemagne. Ces examens ont démontré qu'environ $\frac{2}{3}$ de tous les dégâts des ouvrages sont dus à des défauts de planification et d'exécution (figure 1) [1].

Les mises en état d'ouvrages en béton armé constituent une part importante des activités qui s'exercent dans le domaine de la construction. Elles exigent une grande expérience, car la solution la plus évidente n'est pas toujours la meilleure. C'est pourquoi il faut définir préalablement avec un soin particulier ce qui est à entreprendre. Et souvent, la solution

retenue n'est pas une remise en état complète et très coûteuse, mais une autre plus avantageuse, adaptée aux dégâts. On peut même en arriver à décider de ne momentanément rien faire, mais de surveiller régulièrement l'état de l'ouvrage. Le présent article sert d'introduction à une petite série consacrée à différents exemples de remise en état d'ouvrages en béton armé.

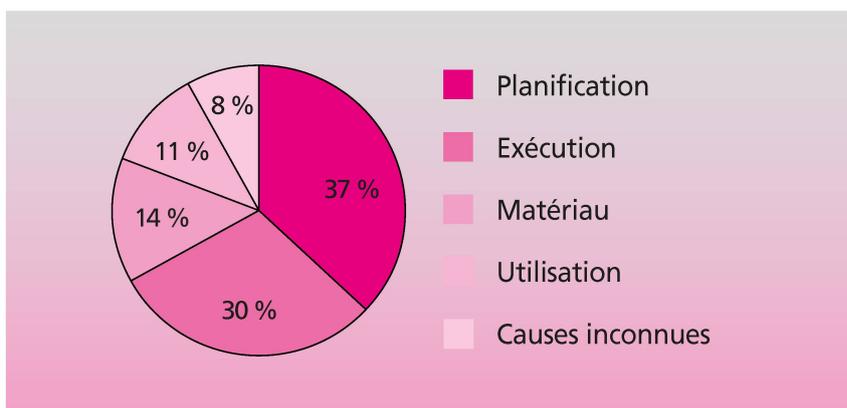


Fig. 1 Causes de défauts et de dégâts en Allemagne [1].

Dessin: TFB

Normes, directives et recommandations

Ces dernières années, les commissions compétentes de la SIA se sont beaucoup occupées des questions de remise en état et de conservation. Il en est résulté les publications suivantes, nouvelles ou remaniées:

- norme SIA 469: «Conservation des ouvrages» (édition 1997) [2]
- norme SIA 160: «Actions sur les

structures porteuses» (édition 1989) [3]

- directive SIA 462: «Évaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants» (édition 1994) [4]
- directive SIA 2002: «Inspection et remise en état des éléments de construction en béton» (édition 1990) [5]
- recommandation SIA 162/5: «Conservation des structures en béton» (édition 1997) [6]

Dans le cadre du programme d'impulsions PI-BAT de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, d'autres publications ont paru: Nous n'en citerons ici que trois:

- PI-BAT: «Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil» [7]
- PI-BAT: «Le diagnostic des ouvrages de génie civil» [8]
- PI-BAT: «Réfection des ouvrages en béton» [9]



Dégâts dus à la corrosion sur des piliers.

Photo: Tobias Jakob, TFB

Les publications mentionnées contiennent de précieuses indications et prescriptions, qu'il faudrait ou qui doivent absolument être observées pour les remises en état. Quelques-unes – basées sur la recommandation SIA 162/5 [6] – sont résumées ci-après, les domaines les plus importants, du relevé de l'état aux matériaux à disposition, étant pris en considération.

Relevé de l'état

La première étape pour la planification d'une remise en état est le relevé de l'état. Il faut prêter une attention toute particulière aux défauts et dégâts suivants [6]:

- enrobage insuffisant de l'armature
- corrosion de l'armature avec réduction de la section
- câbles de précontrainte partiellement injectés
- surface de béton poreuse ou



Partie de pont exigeant une réfection.

Photo: archives TFB



Mesure de l'enrobage d'un rebord de fenêtre dégradé par la corrosion.

Photo: Tobias Jakob, TFB

- caverneuse, vides, éclatements, nids de gravier
- résistance, étanchéité, résistance au gel, résistance au gel et aux sels de déverglaçage ou résistance aux sulfates du béton insuffisantes
- fissures ouvertes (> 0,5 mm) ou traversantes (+ eau)
- capacité portante ou rigidité insuffisantes

- détails de construction inadaptés
- appuis, articulations, joints, drainages, revêtements, étanchéité, imprégnations ou enduits défectueux

Les causes des dégâts peuvent être d'origine physique, chimique ou biologique. Les causes des dommages et des mécanismes de dégradation principaux sont [6]:

- la corrosion de l'armature
- la carbonatation du béton
- la pénétration de chlorures dans le béton
- le dépôt ou la pénétration de matières nocives
- la dislocation du béton suite aux actions physiques, chimiques et biologiques
- les dommages dus à des charges excessives ou à des déformations imposées
- le vieillissement ou la corrosion des appuis, des articulations, des joints, des drainages, des revêtements, de l'étanchéité, des imprégnations ou des enduits



Prélèvement d'une carotte destinée à une investigation destructive.

Photo: Tobias Jakob, TFB

Les résultats des investigations doivent être représentatifs de l'état réel de l'élément de construction. C'est pourquoi il est généralement nécessaire de compléter les investigations non destructives par des investigations destructives et des prélèvements d'échantillons.

De nombreuses méthodes ont été mises au point pour l'*auscultation non destructive* des structures porteuses; elles sont récapitulées dans l'annexe A1 de la recommandation SIA 162/5 [6]. Les méthodes les plus fréquemment utilisées sont l'examen visuel, le mesurage de l'enrobage, le martelage pour détecter des vides, les mesures de potentiel et la détec-

Inhibiteurs
Réalcalinisation
Extraction des chlorures
Protection cathodique contre la corrosion
Séchage
Imprégnation
Enduit
Étanchéité
Parement lié
Parement non lié
Reconstitution du béton (RB)
RB + protection de surface (OS)
RB + OS + revêtement de l'armature
Reprofilage avec du mortier et avec du béton
Injection
Renforcement des sections de béton
Armature collée
Précontrainte extérieure
Remplacement d'éléments structuraux

Défauts / Dégâts	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Enrobage insuffisant	x	x			x		x		x	x				x					
Injection incomplète des gaines de précontrainte															x				
Surface de béton poreuse							x							x					
Occlusions d'air à la surface							x							x					
Eclatements du béton														x					
Nids de gravier											x				x				
Résistance insuffisante du béton											x			x					
Densité insuffisante du béton					x	x	x	x	x	x									
Résistance insuffisante au gel					x	x	x	x											
Résistance insuffisante au gel et aux sels de déverglaçage							x	x											
Résistance insuffisante aux sulfates							x	x											
Fissures d'ouverture excessive															x				
Fissures non étanches								x							x				
Résistance ultime insuffisante														x		x	x	x	x
Rigidité insuffisante														x		x		x	x
Mécanismes de dégradation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Corrosion de l'armature due à la carbonatation	x	x		x	x						x	x	x	x					
Corrosion de l'armature due à la présence de chlorures	x		x	x	x						x	x	x	x					x
Corrosion des câbles de précontrainte					x												x	x	
Carbonatation du béton		x			x		x							x					
Pénétration de matières nocives			x			x	x	x	x	x	x	x							
Erosion des particules fines en surface							x							x					
Dégradation physique de la structure du béton					x	x	x	x	x	x	x	x		x					
Dégradation chimique de la structure du béton							x	x	x	x	x			x					
Sollicitation non prévue											x			x		x	x	x	x
Déformation imposée											x			x		x	x	x	

Tab. 1 Application possible des méthodes de remise en état selon recommandation SIA 162/5 [6].

mination de la résistance du béton au moyen du scléromètre. Lors d'investigations destructives et lors de prélèvements d'échantillons pour les essais en laboratoire selon annexe A2 de la recommandation SIA 162/5 [6], les conséquences de ces opérations sur l'ouvrage doivent être justifiées par l'importance des résultats attendus. Les critères pour le choix et l'exécution de telles investigations figurent sous chiffre 3 4 de

ladite recommandation. Les analyses de la structure par le calcul qui sont nécessaires pour cerner le comportement à l'état de service et à la rupture sont mentionnées au paragraphe suivant (chiffre 3 5). Les résultats du relevé de l'état sont récapitulés dans un rapport qui sert de base pour l'évaluation de l'état.

Evaluation de l'état

Lors de l'évaluation de l'état, on met en parallèle les différentes informations fournies par le relevé de l'état, et on en déduit l'évolution probable de l'état ainsi que la durée d'utilisation restante admissible. Les dégâts les plus fréquents sont dus à la corrosion de l'armature suite à l'effet protecteur insuffisant du béton d'enrobage. Les conséquences de ces dégâts en fonction des influences de

l'environnement sont récapitulées sous chiffre 4 3 de la recommandation SIA 162/5 [6].

Recommandations d'intervention

L'évaluation de l'état sert de base pour les recommandations d'intervention à l'intention du propriétaire d'un ouvrage en béton armé. Les stratégies possibles vont de l'acceptation de l'état existant à la démolition de l'ouvrage. Les interventions liées à la construction concernent le rétablissement ou l'amélioration de la sécurité structurale, de l'aptitude au service et de la durabilité. Les principales méthodes à disposition à cet effet figurent dans le *tableau 1*, lequel est basé sur l'annexe A5 de la recommandation SIA 162/5 [6].

Étude d'intervention

Les interventions de conservation doivent être soigneusement planifiées et justifiées. Les principales méthodes de remise en état pour améliorer la durabilité d'une structure porteuse figurent dans la recommandation SIA 162/5 [6], et y sont décrites en détail sous chiffres 6 3 à 6 6, à savoir:



Vérification de la profondeur de carbonatation sur une carotte au moyen de phénolphtaléine.

Photo: Tobias Jakob, TFB

- inhibiteurs
- méthodes électrochimiques (réalcalinisation, extraction des chlorures, protection cathodique contre la corrosion)
- systèmes de protection de surface
- remplacement du béton
- remplacement d'éléments structuraux

Des réparations locales complémentaires peuvent s'avérer nécessaires (colmatage ou injection de fissures, remplacement du béton éclaté, étanchement d'une surface poreuse). Pour la remise en état ou l'augmentation de la capacité portante d'une structure, la recommandation

SIA 162/5 [6] mentionne ce qui suit:

- renforcement des sections de béton (chiffre 6 7)
- armatures collées (chiffre 6 8)
- précontrainte extérieure (chiffre 6 9)

Matériaux et systèmes

Les mortiers, les bétons (particulièrement les bétons projetés) ainsi que les systèmes de protection de surfaces sont les matériaux les plus fréquemment utilisés pour la remise en état d'ouvrages en béton armé. La norme SIA 162 [10] sert de base pour la classification et la désignation des bétons et des bétons projetés. En dérogation

	Exigence						Age [jours]
	M1 lié au ciment	lié aux résines réactives	M2 lié au ciment	M3 lié au ciment	M4 lié au ciment	lié aux résines réactives	
Densité	x	x	x	x	x	x	
Résistance à la traction par flexion	-	-	-	-	-	≥ 12 N/mm ²	7
Résistance à la compression	≥ 10 N/mm ²	x	≥ 10 N/mm ²	≥ 25 N/mm ² 1)	≥ 25 N/mm ²	≥ 40 N/mm ²	7 28
Résistance à la traction de surface	selon enduit prévu, avec système de protection de surface						
Module d'élasticité	-	-	-	≥ 25 kN/mm ² 1)	-	-	
Résistance à la carbonatation	-	-	meilleure que le support			-	
Résistance aux chlorures	-	-	meilleure que le support			-	
Perméabilité à la vapeur d'eau	1)	-	1)	1)	-	-	
Résistance à l'abrasion	-	-	-	-	1)	1)	
Résistance à l'arrachement	-	≥ 1,5 N/mm ² 2) (1,0 N/mm ²)	≥ 1,5 N/mm ² 2) (1,0 N/mm ²)	≥ 1,5 N/mm ² 2) 1) (1,0 N/mm ²)	≥ 1,5 N/mm ² 2) (1,0 N/mm ²)	≥ 1,5 N/mm ² 2) (1,0 N/mm ²)	28 3)

x Les caractéristiques des essais de base pour l'identification sont à déterminer, toutefois aucune exigence qualitative n'est fixée.

1) Selon les cas, évaluation par un ingénieur compétent.

2) Valeur moyenne (plus petite valeur isolée) à la rupture dans la liaison ou dans le mortier de couverture.

3) Pour obtenir une base de comparaison uniforme, les valeurs d'essai à 28 jours sont utilisées. En général, pour atteindre les valeurs indicatives à l'âge de 28 jours, les éprouvettes devraient supporter 70 % de ces exigences à l'âge de 7 jours.

Tab. 2 Valeurs indicatives pour les essais de qualification et de qualité des mortiers et des bétons de remise en état [6].

à cette norme, la limite entre le béton et le mortier est considérée en fonction du diamètre maximum des granulats (béton > 4 mm, mortier ≤ 4 mm).

Les bétons et les mortiers de remise en état sont répartis en quatre classes [6]:

M 1: Matériaux appropriés pour le remplissage de vides, avec une résistance suffisante pour recevoir le système de protection de surface prévu.

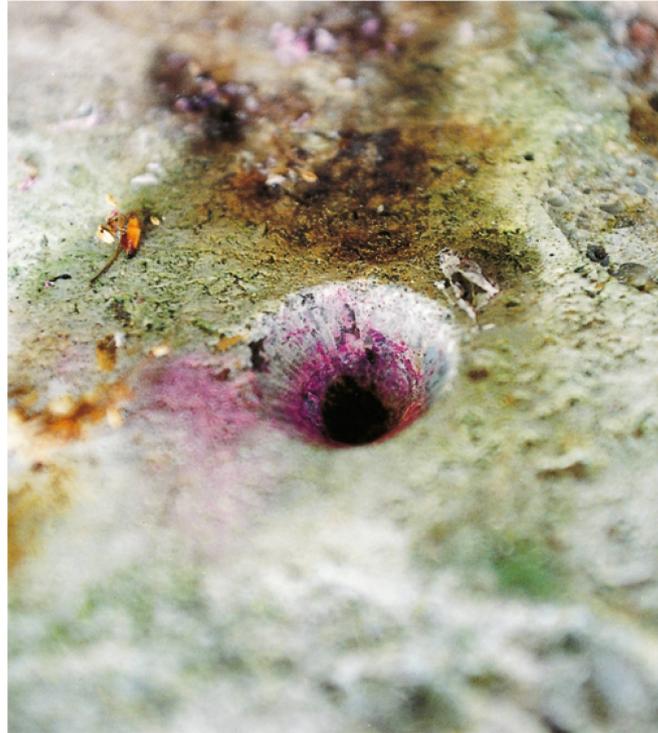
M 2: En plus de M 1, des valeurs minimales pour la résistance à la carbonatation et pour la capacité d'égalisation contre les chlorures doivent être respectées.

M 3: En plus de M 2, des exigences sont fixées quant aux propriétés de résistance et de déformation, à la liaison avec l'acier d'armature traité, à l'adhérence avec le support en béton, à l'influence de l'humidité et de la température ainsi qu'au comportement au feu.

M 4: En plus de M 2, des résistances à la compression et à l'usure déterminées doivent être atteintes.

Les exigences relatives aux bétons et aux mortiers de remise en état sont définies dans les annexes A6 et A7 (voir *tableau 2*) de la recommandation SIA 162/5 [6].

Les systèmes de protection de surface sont répartis en douze classes [6], qui ont été reprises de la partie 2 des «Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen»



Détermination simple de la profondeur de carbonatation (test à la phénolphthaléine).

Photo: Tobias Jakob, TFB

du Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) [11]:

- OS 1: imprégnation hydrophobe
- OS 2: glacis pour les surfaces autres que les surfaces de roulement
- OS 3: glacis pour les surfaces de roulement
- OS 4: enduit pour les surfaces autres que les surfaces de roulement
- OS 5: enduit pour les surfaces autres que les surfaces de roulement, avec au moins une très faible capacité de pontage des fissures
- OS 6: enduit à résistance chimique pour les surfaces faiblement sollicitées mécaniquement
- OS 7: enduit sous les enrobés bitumineux des ponts et des ouvrages similaires
- OS 8: enduit à résistance chimique pour les surfaces de roulement fortement sollicitées mécaniquement
- OS 9: enduit pour les surfaces autres que les surfaces de roulement, avec au moins une capacité de pontage des fissures élevée

OS 10: enduit comme couche d'étanchéité sous des enrobés bitumineux ou d'autres enduits de protection et de surface, avec une capacité de pontage des fissures très élevée

OS 11: enduit pour les surfaces de roulement, avec au moins une capacité de pontage des fissures élevée

OS 12: enduit avec mortier ou béton de résine réactive pour les sur-

Bibliographie

- [1] **Rehm, G.**, «Dauerhafte Betonwerke», *Beton* **46** [3], 99–103 (1986).
- [2] Norme SIA 469: «Conservation des ouvrages» (édition 1997).
- [3] Norme SIA 160: «Actions sur les structures porteuses» (édition 1989).
- [4] Directive SIA 462: «Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants» (édition 1994).
- [5] Cahier technique SIA 2002: «Inspection et remise en état des éléments de construction en béton» (édition 1990).
- [6] Recommandation SIA 162/5: «Conservation des structures en béton» (édition 1997).
- [7] PI-BAT: «Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil», 192 pages (1991).
- [8] PI-BAT: «Le diagnostic des ouvrages de génie civil», 180 pages (1993).
- [9] PI-BAT: «Réfection des ouvrages en béton», 145 pages (1994).
- [10] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton» (édition 1993).
- [11] «Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen», partie 2: «Bauplanung und Bauausführung», édité par le Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), 69 pages (1990).
- [12] **Hermann, K.**, «Protection des surfaces de béton (1): généralités», *Bulletin du ciment* **65** [7/8], 3–11 (1997).
- [13] **Hermann, K.**, «Protection des surfaces de béton (2): préparation du support», *Bulletin du ciment* **65** [9], 3–7 (1997).
- [14] **Jakob, T.**, et **Hermann, K.**, «Protection des surfaces de béton (3): imprégnations hydrophobes» *Bulletin du ciment* **65** [10], 3–7 (1997).
- [15] **Hermann, K.**, «Protection des surfaces de béton (4): glacis», *Bulletin du ciment* **65** [11], 3–7 (1997).
- [16] **Hermann, K.**, «Protection des surfaces de béton (5): enduits», *Bulletin du ciment* **65** [12], 3–7 (1997).

faces de roulement fortement sollicitées mécaniquement. Il a été traité récemment en détail des systèmes de protection de surface dans une série d'articles du «Bulletin du ciment» [12–16].

Exécution

L'exécution des travaux de remise en état sera présentée dans les prochains articles du «Bulletin du ciment», au moyen de différents exemples. Étant donné l'importance de la mesure de potentiel pour définir l'état de corrosion de l'armature, il sera toutefois d'abord traité de cette méthode.

Kurt Hermann, TFB

Quelques définitions concernant la remise en état

Les définitions qui suivent sont tirées de la recommandation SIA 162/5 [6] et de la norme SIA 469 [2].

Aptitude au service

Capacité, pour un ouvrage, de répondre aux performances que requiert son utilisation.

Conservation d'ouvrage

Ensemble des activités permettant de maintenir un ouvrage en bon état et de conserver ses valeurs matérielles et culturelles. La conservation d'ouvrage est une partie spécifique de la gestion d'ouvrage. Elle commence après la mise en service d'un ouvrage et s'étend sur toute la durée d'utilisation de cet ouvrage. L'administration et l'exploitation de l'ouvrage ne font pas partie de la conservation d'ouvrage.

Contrôle du fonctionnement

Contrôle systématique du fonctionnement des installations d'un ouvrage et de ses parties.

Contrôle par mesures

Contrôle fait au titre de la surveillance de l'ouvrage par relevé de valeurs mesurables.

Durée d'utilisation

Durée de la période pour laquelle il a été prévu d'utiliser l'ouvrage.

Durée d'utilisation restante

Durée prévue de l'utilisation future.

Entretien

Activité tendant à maintenir ou à remettre l'ouvrage en bon état sans qu'il ait à répondre à des performances modifiées.

Etude de conservation

Détermination des opérations de conservation prévues, sur une période déterminée, après comparaison de diverses formules.

Etude d'intervention

Étude de chacune des interventions prévues dans le programme de conservation et correspondant à une décision de principe du maître de l'ouvrage.

Exigences

Exigences posées à l'égard des propriétés d'un ouvrage.

Inspection

Constatations de l'état de l'ouvrage par des investigations systématiques, en général visuelles; appréciation de cet état.

Intervention d'urgence

Intervention provoquée par les résultats de la surveillance ou de la vérification, à effectuer sans délai pour rétablir la sécurité et l'aptitude au service de l'ouvrage.

Maintenance

Interventions simples, périodiques, garantissant l'aptitude au service de l'ouvrage.

Remise en état

Intervention propre à rétablir, pour une période déterminée, la sécurité et l'aptitude au service de l'ouvrage.

Remplacement

- Hors conservation: opération consistant à démolir un ouvrage puis à en construire un autre à la même place.
- Au titre de la conservation: opération consistant à remplacer une partie déterminée d'ouvrage.

Rénovation

Opération consistant à remettre tout ou une partie d'un ouvrage dans un état comparable à celui d'un ouvrage neuf.

Restauration

Opération consistant à remettre en état un édifice présentant un grand intérêt d'ordre culturel, tout en sauvegardant ses composants originels.

Sécurité

Situation dans laquelle est assurée la protection matérielle des personnes, des biens et de l'environnement.

Sécurité d'exploitation

Sécurité à l'égard de toute défaillance de l'exploitation ou des installations.

Sécurité structurale

Sécurité à l'égard de toute défaillance de la structure de l'ouvrage.

Surveillance

Observation régulière et appréciation de l'état de l'ouvrage; recommandations pour la suite.

Utilisation

Manière définie d'utiliser l'ouvrage, répondant à son affectation.

Utilisation restante

Période, partant d'un moment donné, pendant laquelle il est prévu d'utiliser encore l'ouvrage.

Vérification

Examen portant sur l'état de l'ouvrage, effectué à l'aide des résultats de la surveillance, pouvant comprendre une analyse approfondie, et complété par des recommandations pour la suite.