

# **SURVEILLANCE: BASIC ELEMENTS IN A "DAM SAFETY" PROCESS**

---

## **LA SURVEILLANCE : ÉLÉMENT DE BASE D'UN PROCESSUS « SÉCURITÉ DES BARRAGES »**

---

**Bulletin 138**



**2009**

Cover: Visual inspection of Sénéchas Dam (Gard, France)

*Couverture : Inspection visuelle du barrage de Sénéchas  
(Dépt du Gard, France)*

**AVERTISSEMENT – EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ :**

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

**NOTICE – DISCLAIMER:**

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

Original text in French  
English translation by the Committee  
Layout by Nathalie Schauner

*Texte original en français  
Traduction en anglais par le Comité  
Mise en page par Nathalie Schauner*

# **SURVEILLANCE: BASIC ELEMENTS IN A "DAM SAFETY" PROCESS**

---

# **LA SURVEILLANCE : ÉLÉMENT DE BASE D'UN PROCESSUS « SÉCURITÉ DES BARRAGES »**

---

---

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71  
E-mail : [secretaire.general@icold-cigb.org](mailto:secretaire.general@icold-cigb.org)  
Site : [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)

---

COMMITTEE ON DAM SURVEILLANCE  
COMITÉ DE LA SURVEILLANCE DES BARRAGES

*Chairman/Président*

France Bernard Goguel

*Vice-Chairman/Vice Président*

Argentina/Argentine Alejandro Pujol

*Members/Membres*

Austria/Autriche	Pius Oberhuber
Bulgaria / Bulgarie	Christo B. Abadjiev
Canada	Gérard Verzeni
China/Chine	Sanda Yu
Czech Rep. / Rép. Tchèque (3) (x)	Pavel Krivka (x)
Egypt / Egypte (3)	Ashral El-Ashaal (3)
Finland / Finlande	Jussi Pyyny
Former Yug. Rep. of Macedonia/ Ex Rép Youg. de Macédoine (2)	Slavko Milevski (2)
Germany/Allemagne	Markus Aufleger
India/Inde	S.K. Sengupta (3)
Iran	Ali Noorzad
Italy/Italie	Alberto Masera (1)
Japan/Japon	Yoshiaki Mori
Morocco/Maroc	Ahmed F. Chraibi (1)
Norway/Norvège	Elmo Dibiagio
Portugal	Carlos Pina
Romania/Roumanie	Dan Hulea
South Africa/Afrique du Sud (1)	Chris Oosthuisen (1)
Spain/Espagne	Jurgen Fleitz
Sweden/Suède	Sam Johansson
Switzerland/Suisse	Laurent Mouvet
United Kingdom/Royaume Uni	Jim Millmore

*Corresponding Members / Membres correspondants*

Australia/Australie	Ian Landon-Jones
New Zealand/Nouvelle Zélande	Peter Silvester

(1) Member since 2004 / Membre depuis 2004

(2) Member since 2006 / Membre depuis 2006

(3) Member since 2007 / Membre depuis 2007

(x) Corresp. Member 2003-2007 / Membre correspdt 2003-2007 : Jiri Polacek

---

## SOMMAIRE

---

### AVANT-PROPOS

1. CONTEXTE GÉNÉRAL
2. LA SURVEILLANCE :  
ÉLÉMENT DE BASE D'UN  
PROCESSUS « SÉCURITÉ DES  
BARRAGES »
3. LA SURVEILLANCE DES  
BARRAGES : UN ENSEMBLE  
D'ACTIVITÉS  
COMPLÉMENTAIRES ET  
REDONDANTES
4. PRINCIPES ET RÈGLES
5. L'AUSCULTATION EN LIEN  
AVEC LA MÉTROLOGIE
6. RÉFÉRENCES

---

## CONTENTS

---

### FOREWORD

1. GENERAL CONTEXT
2. SURVEILLANCE: BASIC  
ELEMENTS IN A “DAM  
SAFETY” PROCESS
3. SURVEILLANCE: A SERIES OF  
COMPLEMENTARY AND  
REDUNDANT ACTIVITIES
4. PRINCIPLES AND RULES
5. MONITORING LINKED TO  
METROLOGY
6. REFERENCES

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	8
1. CONTEXTE GÉNÉRAL .....	10
2. LA SURVEILLANCE : ÉLÉMENT DE BASE D'UN PROCESSUS « SÉCURITÉ DES BARRAGES ».....	12
2.1. Cadre législatif et réglementaire .....	16
2.1.1. La surveillance des barrages .....	18
2.1.2. La sécurité des populations et des biens .....	18
3. LA SURVEILLANCE DES BARRAGES : UN ENSEMBLE D'ACTIVITÉS COMPLÉMENTAIRES ET REDONDANTES .....	20
3.1. La classification des barrages .....	22
3.2. La programmation des activités de surveillances .....	22
3.3. L'inspection des ouvrages .....	22
3.4. Auscultation des barrages .....	26
3.5. Contrôle de la fonctionnalité des organes d'évacuation .....	26
3.5.1. Inspection des organes d'évacuation .....	28
3.5.2. Essais de fonctionnement .....	30
3.6. Suivi du comportement .....	32
3.7. Diagnostic .....	32
3.8. Archivage des données .....	34
4. PRINCIPES ET RÈGLES .....	36
4.1. Règles générales .....	36
4.2. Principes particuliers .....	36
4.3. Autres considérations .....	40
5. L'AUSCULTATION EN LIEN AVEC LA MÉTROLOGIE .....	42
5.1. Principes généraux .....	42
5.1.1. Instrumentation .....	42
5.1.2. Systèmes d'auscultation .....	42
5.1.3. Interprétation .....	44
5.2. Principes de mesure en surveillance des barrages .....	44
6. RÉFÉRENCES .....	46

---

---

# TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD .....	9
1. GENERAL CONTEXT .....	11
2. SURVEILLANCE: BASIC ELEMENTS IN A “DAM SAFETY” .....	13
2.1. Legal framework .....	17
2.1.1. Dam Surveillance .....	19
2.1.2. Safety of Persons and Properties .....	19
3. SURVEILLANCE: BASIC ELEMENTS IN A DAM SAFETY PROCESS AND LEGAL FRAMEWORK .....	21
3.1. Classification of Dams .....	23
3.2. Programming Surveillance Activities .....	23
3.3. Inspection of Structures .....	23
3.4. Monitoring of Dams .....	27
3.5. Flow Control Equipment Assessment .....	27
3.5.1. Inspection of Discharge Works .....	29
3.5.2. Operating Tests .....	31
3.6. Performance Monitoring .....	33
3.7. Diagnosis .....	33
3.8. Dam Safety Data Management .....	35
4. PRINCIPLES AND RULES .....	37
4.1. General Rules .....	37
4.2. Specific Principles .....	37
4.3. Other Considerations .....	41
5. MONITORING LINKED TO METROLOGY .....	43
5.1. General Principles .....	43
5.1.1. Instrumentation .....	43
5.1.2. Monitoring Systems .....	43
5.1.3. Interpretation .....	45
5.2. Dam Surveillance Measurement Principles .....	45
6. REFERENCES .....	46

---

---

# FIGURES

---

Fig. 1. Programme de sécurité des barrages  
Dam Safety Program

Fig. 2. Le cycle des activités routinières et continues de sécurité de barrages  
Dam Safety Routine on-going Activities Cycle

Fig. 3. La surveillance des barrages  
Dam Surveillance





---

# AVANT-PROPOS

---

Le *Comité Technique de la Surveillance des Barrages* a été établi par la 71<sup>e</sup> Réunion Annuelle de la CIGB à Montréal en Juin 2003. La durée de 4 ans de son mandat initial (2003-2007) fut prolongée de 2 ans à la 75<sup>e</sup> Réunion Annuelle à Saint-Petersbourg en Juin 2007, où le présent Bulletin fut approuvé.

On présente ici une « *Introduction à la Surveillance des Barrages* », pour l'information des cadres dirigeants des propriétaires de barrages, et des autres personnes concernées non spécialistes. La surveillance est un élément de base du processus de sécurité des barrages et de son contexte réglementaire. Elle couvre une série d'activités complémentaires et redondantes comme les inspections visuelles, la gestion des dossiers techniques, l'auscultation (tant manuelle qu'automatique), le contrôle et les essais des équipements, et l'évaluation de l'état et du comportement du barrage.

Un second Bulletin plus détaillé, intitulé « *Guide de la surveillance* », fournira des indications techniques plus complètes sur le sujet.

Il révisera et mettra à jour de précédents textes du premier *Comité de l'Auscultation* :

1. - Bulletin 60 (1988), qui reprenait des textes plus anciens,
2. - Note de synthèse du Bulletin 68 (1989).

Il se référera aussi aux Bulletins 87 (Amélioration de l'auscultation des barrages, 1992) et 118 (Systèmes d'auscultation automatique des barrages, 2000).

C'est dire que les travaux du Comité de la Surveillance des Barrages s'inscrivent à la suite d'une longue série de travaux antérieurs, commencés par le Comité sur l'Observation des Barrages et Modèles (Bulletins 21 et 23, parus en 1969 et 1972), et poursuivis par plusieurs Comités de l'Auscultation successifs.

Ils sont aussi en relation particulièrement étroite avec les travaux du *Comité de la Sécurité des Barrages*, et ceux du *Comité de l'Exploitation, Entretien et Réhabilitation des Barrages*.

BERNARD GOGUEL  
Président,  
Comité de la Surveillance des Barrages

---

## FOREWORD

---

The *Technical Committee on Dam Surveillance* was appointed by the ICOLD 71st Annual Meeting in Montreal in June 2003. Its four-year term, 2003-2007, was extended by two years at the 75<sup>th</sup> Annual Meeting in Saint-Petersburg in June 2007, where the present Bulletin was approved.

A “*General Approach to Dam Surveillance*” is presented here, for owners, managers, and other non specialists. Dam Surveillance is a basic element in Dam Safety processes within the current legal frameworks. It covers a series of complementary and redundant activities, made of visual inspections, dam documentation management, monitoring (both manual and automated), equipment checking and testing, and assessment of dam condition and behaviour.

A second and more detailed Bulletin, entitled “*Surveillance Guide*”, will provide more comprehensive technical guidance on the subject.

It will up-date and complete previous texts from the first *Committee on Monitoring*:

Bulletin 60 (1988), which merged older texts,  
Overview of the B. 68 (issued in 1989).

It will also refer to Bulletins 87 (Improvement of existing dam monitoring, 1992) and 118 (Automated dam monitoring systems, 2000).

The works of the *Committee on Dam Surveillance* therefore rely upon a long series of previous works, which started with the Committee on Observations on Dams and Models (Bulletins 21 and 23, issued in 1969 and 1972), and were followed by several successive *Committees on Monitoring*.

They are also in particularly close relation with those of the *Committee on Dam Safety*, and the *Committee on Operation, Maintenance and Rehabilitation of Dams*.

BERNARD GOGUEL  
Chairman,  
Committee on Dam Surveillance

---

# 1. CONTEXTE GÉNÉRAL

---

De toutes les réalisations humaines, les barrages sont parmi celles qui peuvent à certains égards induire un potentiel de risques très significatif. La construction d'ouvrages de retenue « impose » un risque aux populations avoisinantes, aux biens et à l'environnement naturel et humain.

Bien que les conséquences d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance d'un barrage soient mesurables, quantifiables et bien souvent importantes, elles en sont toutefois très hypothétiques. En effet, la probabilité de leur occurrence est très faible.

Le risque intrinsèque, résultant d'une conséquence multipliée par des probabilités d'occurrence est variable, et difficilement quantifiable.

La surveillance des barrages vise à gérer ce risque et réduire au mieux ses probabilités d'occurrence, en mobilisant les moyens nécessaires à l'identification précoce d'évènements indésirables susceptibles d'engendrer une éventuelle défaillance ou rupture. Toute organisation d'un processus de surveillance devrait donc viser à faire en sorte que l'on réduise au maximum les probabilités de défaillance par :

- l'identification des modes de rupture et leur prise en compte dans un programme de surveillance,
- la détection précoce de phénomènes avant-coureurs et évolutifs qui pourraient mener à ces mécanismes de rupture,
- la connaissance, via des paramètres physiques, du comportement du barrage et de ses composantes.

La protection des personnes et des biens est en règle générale une responsabilité sociale de l'État qui doit, par des mesures législatives contraignantes, être en mesure d'imposer et de contrôler une surveillance effective et efficace des barrages. Pour cette raison, la surveillance des barrages doit s'appuyer sur un cadre légal et réglementaire définissant précisément les rôles et responsabilités des différents intervenants.

Il reste que le propriétaire est le premier responsable pour tous les aspects de la sécurité du barrage, y compris les conséquences d'une rupture. C'est à ses cadres dirigeants que s'adresse le présent Bulletin, ainsi qu'aux autres personnes concernées non spécialistes.

Un second Bulletin plus détaillé, intitulé « Guide de la surveillance », fournira des indications techniques plus complètes sur le sujet.

---

# 1. GENERAL CONTEXT

---

Dams are among the human achievements that can sometimes create a very significant potential risk. Building retaining structures in a geographic area imposes a risk on neighbouring populations, on property, and on the natural and human environment.

Although the consequences of the poor performance or failure of a dam can be measured and quantified and can be very significant, failure nonetheless remains very hypothetical. In fact, the probability of this occurrence is very low.

The intrinsic risk resulting from a consequence multiplied by the probability of occurrence is variable, and difficult to quantify.

Dam surveillance aims at managing this risk and reducing the probability of occurrence by providing a means of early identification of undesirable events that can possibly cause failure. The organization of any surveillance process should thus aim to reduce the probability of failure as much as possible by:

- identification of potential failure modes and providing a surveillance program to cover these,
- early detection of initial stages of evolving phenomena that can lead to failure mechanisms,
- understanding the behaviour of the dam and its components using physical parameters.

As a general rule, protection of persons and properties is a social responsibility for Government, who must legislate, to enforce and control effective and efficient surveillance of dams. Dam surveillance has to rely on a legal framework, which clarifies the duties and responsibilities of the different parties.

Nevertheless the owner has the main responsibility for all aspects of dam safety including the consequences of any dam failure. This Bulletin has been prepared for the owner's managers, and other non specialist persons.

A second and more detailed Bulletin, entitled "Surveillance Guide", will provide fuller technical guidance on the subject.

# 1. LA SURVEILLANCE : ÉLÉMENT DE BASE D'UN PROCESSUS « SÉCURITÉ DES BARRAGES »

Assurer la sécurité d'un barrage, ou de tout autre ouvrage de retenue, nécessite un ensemble d'activités concomitantes, bien coordonnées et raisonnablement agencées. Ces activités doivent être :

- complémentaires dans une chaîne d'actions successives menant à une garantie de sécurité ou de sûreté;
- dotées d'une certaine redondance, afin d'offrir une garantie allant au-delà des aléas de fonctionnement.

On peut illustrer l'agencement de telles activités en un processus intégré et opérationnel qui prendrait la forme suivante :

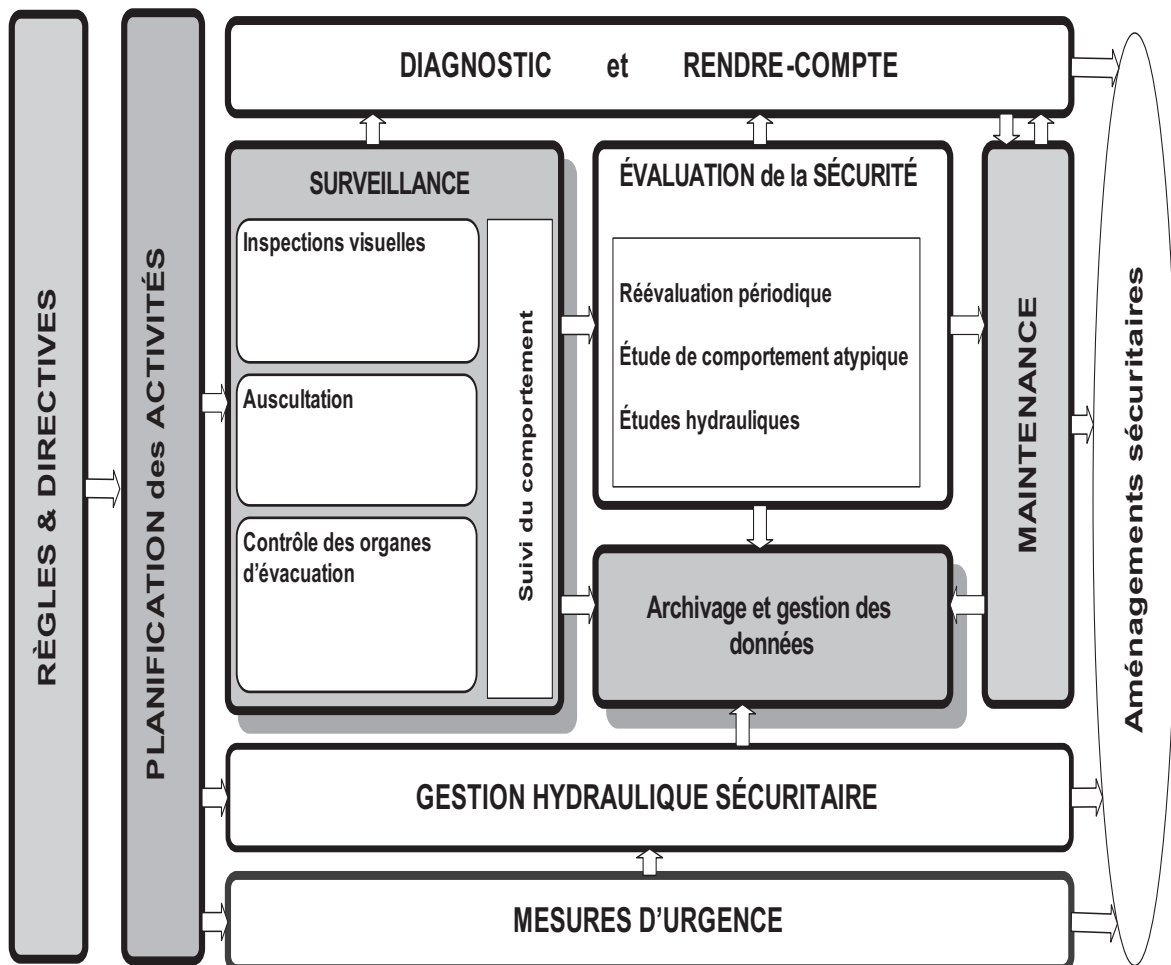


Fig. 1  
Programme de sécurité des barrages

# 1. SURVEILLANCE: BASIC ELEMENTS IN A “DAM SAFETY” PROCESS

Assurance of the safety of a dam or of any other retaining structure requires a series of concomitant, well directed, and reasonable organized activities. The activities must:

- be complementary in a chain of successive actions leading to an assurance of safety,
- contain redundancies to a certain extent so as to provide guarantees that go beyond operation risks.

The organization of these activities into an integrated operational process can be illustrated as follows:

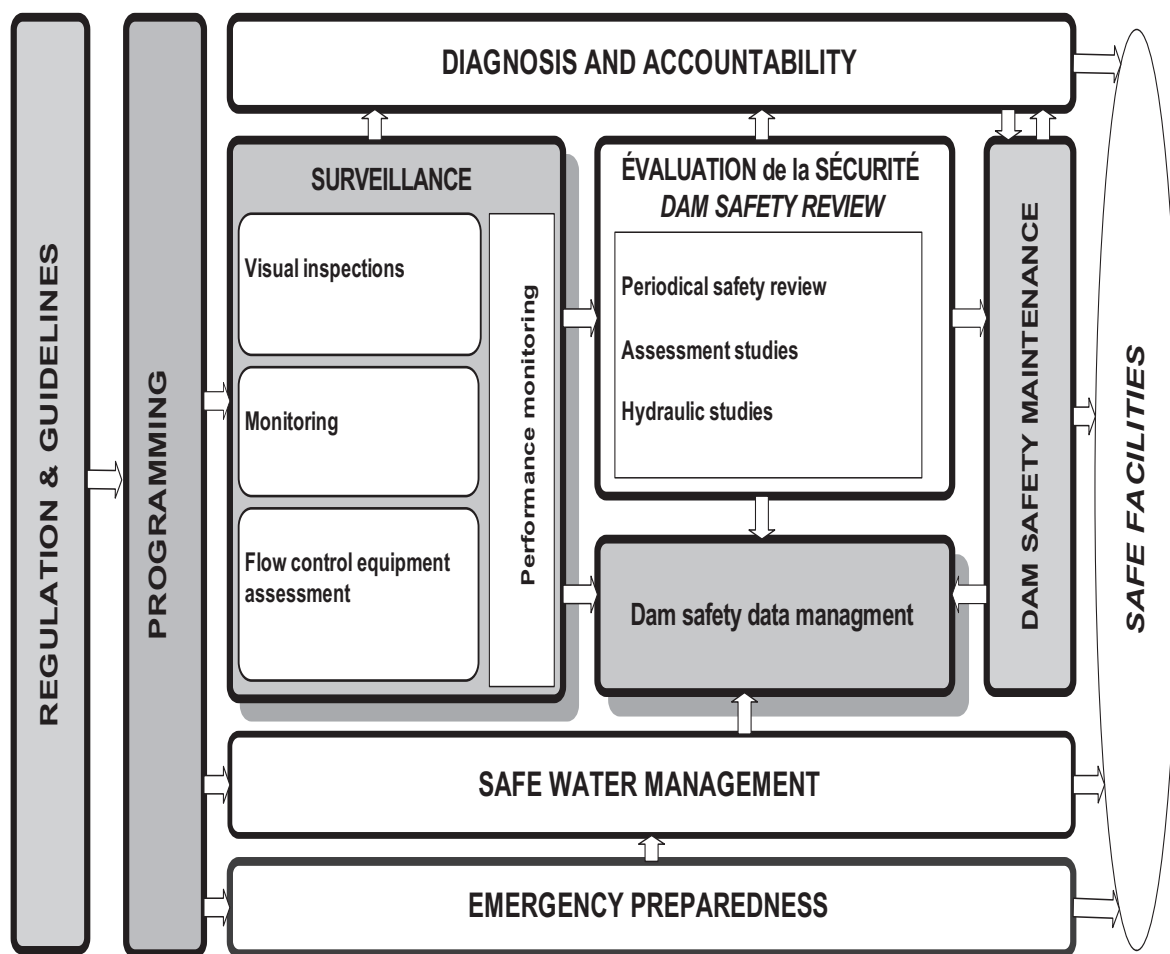


Fig. 1  
Dam Safety Program

*Les règlements et directives de base* sont l'expression des lois, des règlements, des prescriptions ou des règles de fonctionnement interne qu'un propriétaire de barrage devra suivre ou se verra imposer.

*La planification des activités* et leur programmation dans le temps sont la traduction en travaux et activités des règles et directives. Les activités de surveillance seront ainsi identifiables et illustrent une approche diligente et responsable.

*La surveillance des barrages* est la pierre angulaire et principale d'un tel processus avec ses principales activités, à savoir :

- les inspections de diverses natures,
- l'auscultation avec des instruments (moyens topographiques et instruments de mesure),
- le contrôle de la fonctionnalité des organes d'évacuation quels qu'ils soient, qui vise à s'assurer de leur fiabilité au moment opportun,
- et le suivi du comportement.

*L'évaluation périodique de la sécurité* d'un barrage, comme élément d'un aménagement parfois plus complexe, exploité dans un bassin hydrographique déterminé, est la révision complète de sa sécurité et de sa pérennité. Ces études de remise à jour des analyses de sécurité structurale et fonctionnelle des ouvrages de retenue s'appuient bien évidemment sur des études hydrauliques et des évaluations particulières en cas de comportement atypique ou de déficience présumée ou identifiée de l'ouvrage.

*La maintenance* doit inclure tous les travaux d'entretien récurrents ou non ainsi que des travaux majeurs de réfection, de réhabilitation ou de sécurité.

*Le diagnostic et le rapport (rendre-compte)*, en fin de processus, fournissent, suivant des méthodologies propres à chaque organisation :

- l'assurance requise pour la poursuite de l'exploitation,
- les recommandations requises pour le maintien ou l'amélioration de la sécurité,
- et des recommandations pour la pérennité de l'ouvrage étudié.

Bien entendu ces différents ensembles d'activités visent à réduire le risque en relation directe avec le barrage tel qu'il a été identifié ; le risque résiduel est, lui, couvert par la mise en place de *mesures d'urgence* appropriées, performantes et répondant aux exigences légales en vigueur, visant à réduire le dommage en cas d'incidents.

Placée au cœur d'un tel processus, la surveillance des barrages prend une importance capitale. Bien entendu l'ensemble des activités d'un processus Sécurité des barrages peut avoir un aspect parfois différent, parfois moins marqué ... mais, il reste que :

- toutes ces activités se retrouvent sous une forme ou une autre dans un processus de travail défini avec précision (programme de sécurité des barrages, ensemble des consignes écrites de surveillance);



The basic *regulation and guidelines* are the expression of legislation, regulations, stipulations or internal bylaws that a dam owner must follow or comply with.

*The planning and scheduling* of activities in time is the conversion of the rules and guidelines into work procedures and activities. The surveillance activities will thus be identified and demonstrable from a due diligence standpoint.

*Dam surveillance* is the cornerstone and foundation upon which the process is built with its main activities, namely different types of inspection:

- monitoring surveys,
- monitoring with instruments (topographic and instrumentation),
- flow control equipment assessment, or monitoring of operation of discharge facilities whatever the type, aiming at ensuring they are reliable when required,
- and dam behaviour monitoring.

*Periodical dam safety review* of a dam, which is part of an overall development project, sometimes more complex, operating in a specific drainage basin, is a complete revision of the safety and long term behaviour of the dam. These studies involving recalculation of the structural and operational safety of retaining structures are obviously based on hydraulic studies and specific issue evaluations when abnormal behaviour occurs or deficiencies are identified.

*Maintenance* must include all maintenance works, recurrent or not, as well as major reconstruction, rehabilitation, or security projects.

*Diagnosis and reporting*, ultimately, depending on each organization's methodology, provide:

- the necessary assurance for continuing operation,
- the recommendations required to maintain or improve safety,
- and recommendations for long term satisfactory behaviour of the dam.

These different series of activities directly address the risks to the dam as they are known; the residual risk is covered by the establishment of suitable *emergency measures* that work well and meet applicable legal requirements, aiming at reducing the damages in case of incidents.

When dam surveillance is at the heart of this process, it takes on a crucial role. All of the activities in a Dam Safety process can vary and sometimes be less important. However, the fact remains that:

- all these activities can be found in one form or another in a successful work process (dam safety program, set of written surveillance procedures),

- la surveillance, quelle qu'en soit la forme, demeure une composante obligatoire et incontournable de tout effort de sécurité des barrages.

Les Bulletins sur la Surveillance des Barrages vont traiter du cycle d'activités routinières pour le contrôle de sécurité du barrage, décrit dans la figure suivante.

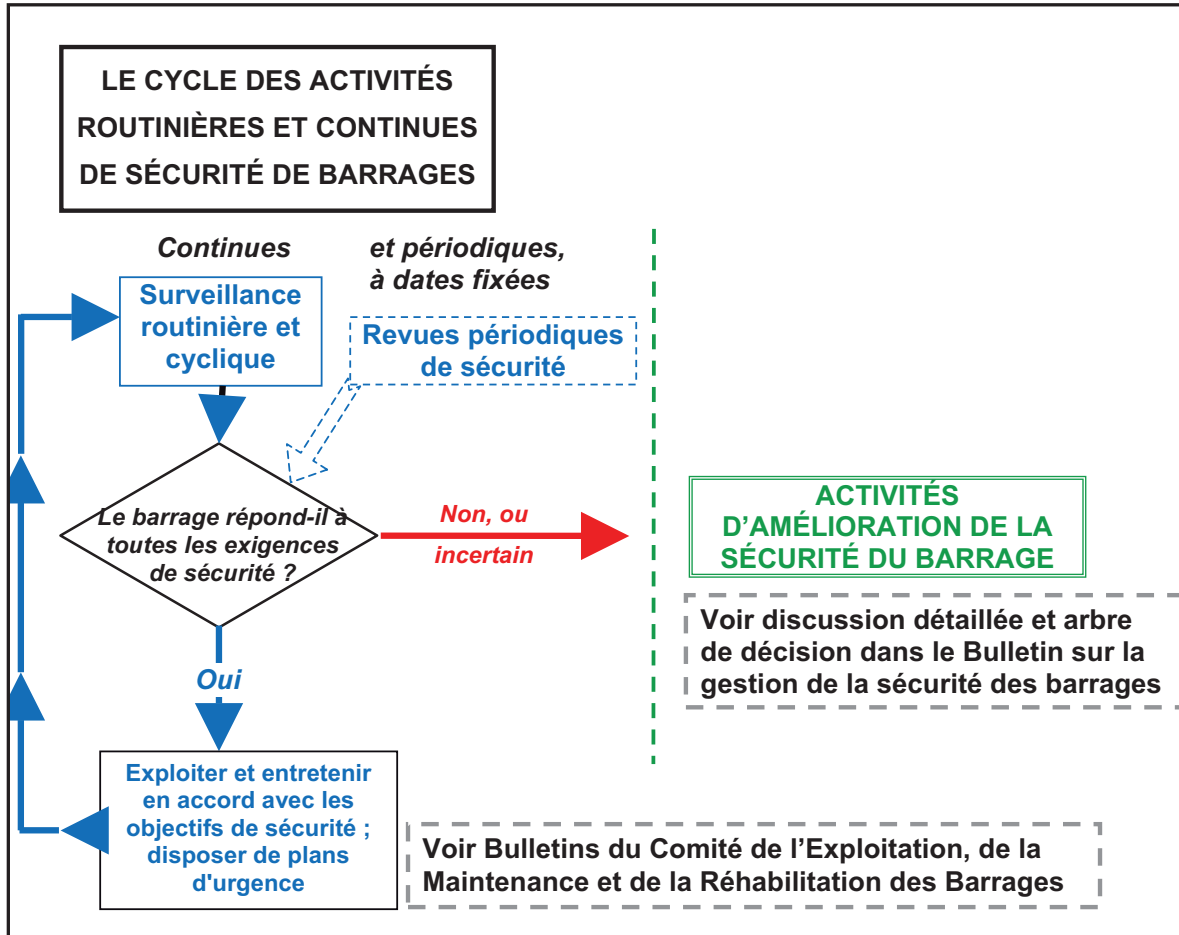


Fig. 2  
Le cycle des activités routinières et continues de sécurité de barrages

## 2.1. CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

La nécessité d'un cadre législatif et réglementaire pour la surveillance des barrages est apparue au XIX<sup>e</sup> siècle, lorsque les premiers grands barrages liés à des centres industriels ont été construits, pouvant occasionner un dommage important aux populations et aux biens.

Depuis le début des années 1990, plusieurs initiatives ont visé à comparer les lois cadre régissant la surveillance des barrages dans les pays les plus expérimentés dans ce domaine. L'objectif a été de mettre en évidence les similitudes et de fournir ainsi aux autorités des différents pays une base pour développer une législation moderne et adaptée aux exigences actuelles de la surveillance des barrages.

- surveillance in any form remains a necessary stage and a must in any well organised dam safety program.

The Dam Surveillance Bulletins will focus on Dam Safety routine on-going activity cycle as shown in the following figure.

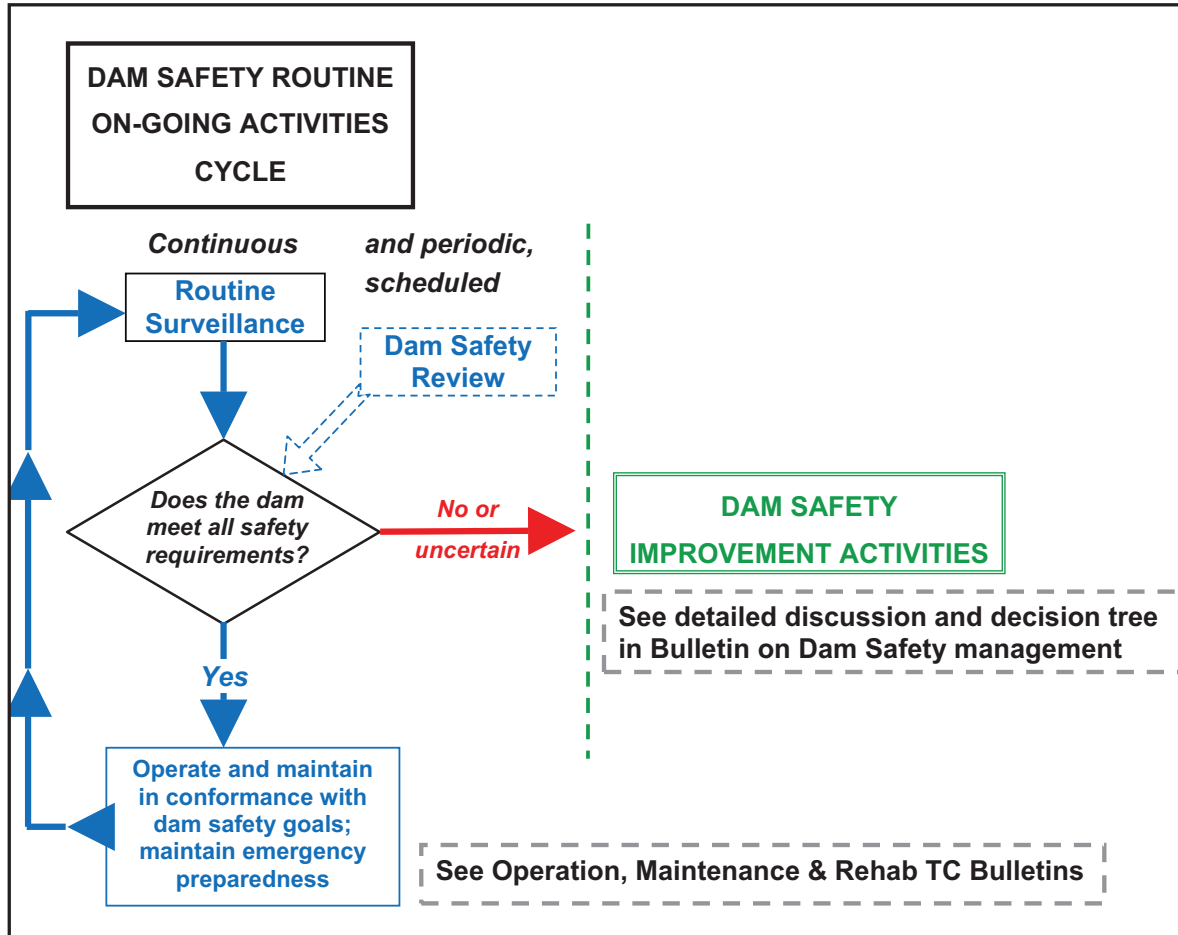


Fig. 2  
Dam Safety Routine on-going activities cycle

## 2.1. LEGAL FRAMEWORK

The needs for a legal framework for dam surveillance began in the 19th century, when the first large dams were built, related with large industrial developments. They have the potential to cause serious damage to people and property.

Since the early nineties, several initiatives have been conducted in order to compare regulations dealing with dam surveillance in the most experienced countries in this matter. The objective was to pinpoint the similarities and so, to provide to the government of other countries a framework for developing their own up-to-date regulation, adapted to the most recent needs for dam surveillance.

Nous citerons en particulier :

- Le rapport *Dam Legislation*, établi par un groupe de travail européen de la CIGB, février 2001,
- *Cadres réglementaires pour la sécurité des barrages, étude comparative*, Bradlaw, Palmieri et Salman, édité par la Banque Mondiale, 2003 en français.

L'analyse de ces lois et règlements met en évidence que deux thèmes essentiels doivent être traités :

1. La surveillance des barrages,
2. La sécurité des populations et des biens, en relation avec le risque résiduel qu'occasionnent les barrages.

### **2.1.1. La surveillance des barrages**

Il est couramment admis que la responsabilité de la surveillance du barrage et de la garantie de la sécurité incombe au propriétaire de l'ouvrage, ou à son exploitant.

Le cadre législatif et réglementaire doit fixer précisément les points suivants :

- L'obligation du propriétaire ou de l'exploitant, et les limites de sa responsabilité,
- Le cadre normatif à respecter,
- La procédure de surveillance permanente et d'évaluation périodique de la sécurité,
- Le rôle et la compétence de l'organisme de contrôle,
- Le pouvoir de contrainte de cet organisme de contrôle.

### **2.1.2. La sécurité des populations et des biens**

Même si il est correctement conçu et surveillé, le barrage représente un risque potentiel pour la population et les biens situés à l'aval. On peut qualifier ce risque résiduel de minime, mais en aucun cas d'inexistant ou de négligeable.

Pour cette raison, le cadre législatif sur la sécurité des barrages doit imposer la mise en œuvre de plans de sécurité et de plans d'urgence pour limiter le dommage potentiel à l'aval.

We can mention specially:

- The report *Dam Legislation*, prepared by a working group of the European Club of ICOLD, February 2001,
- *Regulatory frameworks for dam safety, a comparative study*, Bradlaw, Palmieri and Salman, published by the World Bank, 2002 (and 2003 in French).

The analysis of these laws and regulations pointed out that two main themes have to be addressed:

1. Dam surveillance,
2. Safety of people and property, in relation to the residual risk imposed by dams.

### **2.1.1. Dam Surveillance**

It is generally accepted that the responsibility for dam surveillance and the assurance of safety belongs to the owner of the dam, or its operator.

The legal framework must determine the following items:

- Duties of the owner or the operator, and the limits of his liability,
- The compulsory standards to follow,
- The way to proceed with permanent surveillance and for periodical reviews of safety,
- The role and competence of the control authority,
- The enforcement ability of this control authority.

### **2.1.2. Safety of persons and properties**

Despite adequate design and appropriate surveillance, a dam still creates a potential risk for the persons and properties in the downstream area. This risk can be considered as residual, minimal, but never nonexistent nor negligible.

That is why the legal framework for dam safety must regulate the development of the dam safety process and emergency plan for reducing potential damage downstream.

---

### 3. LA SURVEILLANCE DES BARRAGES : UN ENSEMBLE D'ACTIVITÉS COMPLÉMENTAIRES ET REDONDANTES

---

La surveillance des barrages est une activité ou une somme d'activités qui doivent aussi être :

- concomitantes en concourant au même but,
- complémentaires pour s'épauler mutuellement,
- suffisamment redondantes afin de pallier la non réalisation, pour quelque raison que se soit, d'une partie d'une autre activité.

On pourrait illustrer de bien des manières l'agencement des activités qui concourent à la surveillance des barrages. Le diagramme ci-dessous en propose une illustration la plus large possible.

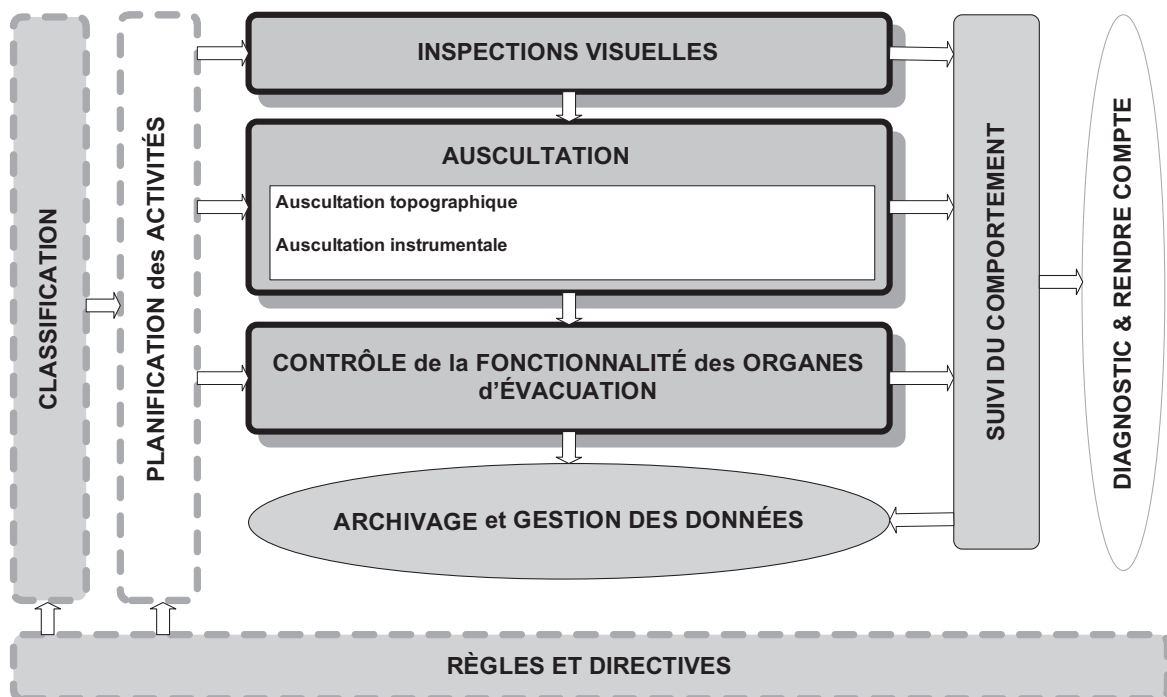


Fig. 3  
La surveillance des barrages

Comme indiqué précédemment, des règles de conduite interne, des règlements ou des encadrements fixent l'ampleur, la nature et les modalités des activités qui doivent composer une surveillance bien organisée et pertinente. Ces règles s'appuient généralement sur les règles de l'art reconnues, édictées soit dans les bulletins de la CIGB soit dans les pratiques déjà établies par des organismes, des propriétaires ou des maîtres d'ouvrage.

---

### 3. SURVEILLANCE: A SERIES OF COMPLEMENTARY ACTIVITIES WITH BUILT IN REDUNDANCY

---

Dam safety is an activity or a sum of activities that must also be:

- concomitant and integrated with a common goal,
- complementary so as to be mutually supporting,
- sufficiently redundant so as to counter the impact of failure of other activities to accomplish their function, whatever the reason may be.

The organization of activities aimed at ensuring dam surveillance can be illustrated in many ways. The diagram below proposes the broadest illustration possible.

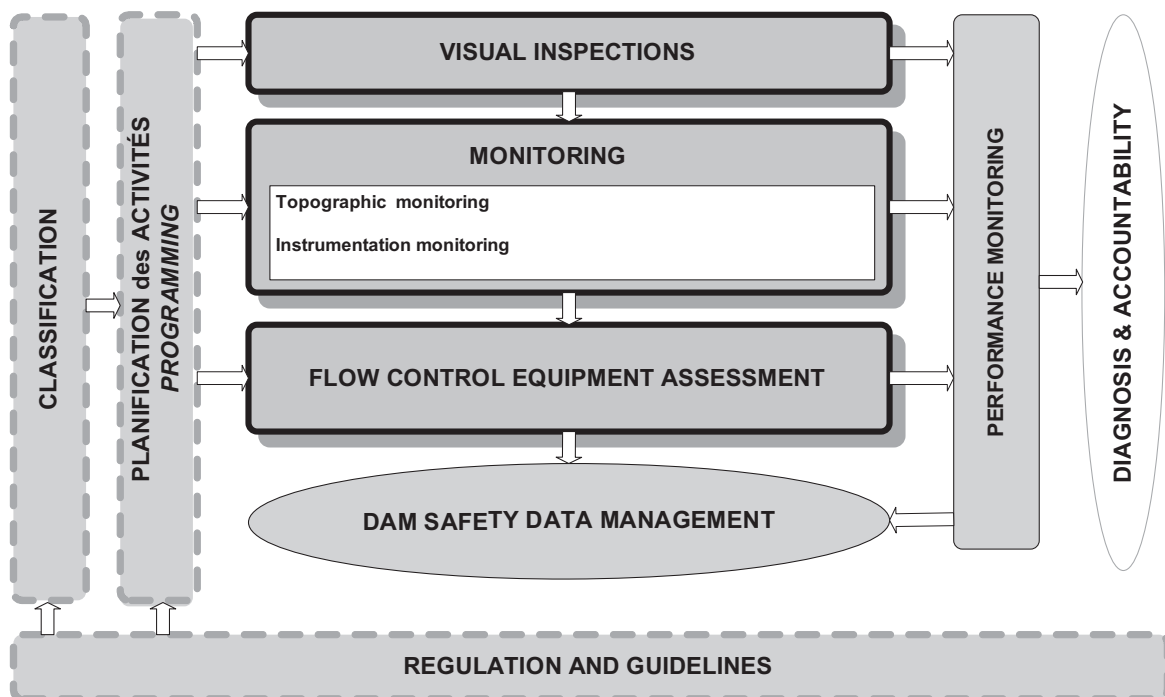


Fig. 3  
Dam Surveillance

As mentioned previously, codes of conduct, regulations, or guidelines establish the scope, nature, and procedures of the activities that should be included in a relevant and well organized surveillance program. These rules are usually based on the recognized state of the art, either set forth in ICOLD Bulletins or in established practices of agencies, dam owners, or engineers.

Les responsabilités pour les activités de surveillance doivent être bien définies. La surveillance doit être effectuée de façon professionnelle et continue (ou du moins périodiquement) à un niveau correspondant à celui de la classification (voir en C1) en termes de risques.

### **3.1. LA CLASSIFICATION DES BARRAGES**

Les barrages et ouvrages de retenue sont classés en catégories distinctes. La plupart des réglementations réfèrent ou imposent une classification de ces ouvrages. Les raisons principales sont d'avoir des catégories d'ouvrages afin de leur imposer des mesures graduées ou adaptées à ces catégories. La gradation des mesures se veut l'adaptation à l'importance du risque que ces ouvrages représentent.

Il existe de nombreuses classifications, très utiles lorsqu'on a un parc d'ouvrages. Les classifications sont établies suivant des critères et des modalités bien définies et normalisées. Les classifications font appel aux différentes caractéristiques de l'ouvrage (hauteur, longueur, nature des matériaux...) et de ses fondations, ainsi qu'à l'ampleur des conséquences en aval en cas de rupture. L'importance relative de ces différentes caractéristiques ainsi que l'ampleur des conséquences est très variable selon les propriétaires des ouvrages ou les réglementations existantes.

D'un point de vue conceptuel on pourrait définir et personnaliser la surveillance (avec toutes ses activités) pour chaque barrage en fonction de son état et des risques encourus. La classification est donc un moyen plus simple et rationnel de faire cette personnalisation en établissant des familles, des classes d'ouvrages semblables.

### **3.2. LA PROGRAMMATION DES ACTIVITÉS DE SURVEILLANCE**

La programmation des activités de surveillance se fait à partir de la classification qui prédéfinit les activités de surveillance, leur nature, leur ampleur et leur fréquence pour chaque classe d'ouvrages. Cette programmation peut être également ajustée à l'état du barrage tel qu'évalué par le diagnostic.

### **3.3. L'INSPECTION DES OUVRAGES**

L'inspection visuelle constitue le moyen le plus important de surveiller les barrages. Son objectif premier consiste à détecter tous phénomènes importants susceptibles de les affecter, et à en suivre l'évolution. C'est une source de données pour le suivi du comportement du barrage et l'évaluation de sa sécurité ; elle doit suivre des procédures bien établies.

Il importe que les personnes chargées de ces inspections connaissent parfaitement bien l'ouvrage et son comportement. Elles pourront ainsi déceler des changements ou dégradations sur quelques uns des points observés. La qualification du



Responsibilities for surveillance activities must be well defined. The surveillance must be performed professionally and continuously (or at least periodically) to a level commensurate with the level of hazard classification (see in 3.1).

### **3.1. CLASSIFICATION OF DAMS**

Dams and retaining structures are classed in distinct categories. Most regulations refer to, or impose a classification of these structures. The main reason is to have categories of structures so as to impose measurements that are graded or adapted to these categories. Grading of measurements means that they are adapted to the seriousness of the risk these structures represent.

There are many classifications that are very useful for dealing with a number of structures. The classifications are established based on well defined and standard criteria and procedures. The classifications rely on the different features of the structure (height, length, nature of materials...) and the foundations as well as the magnitude of consequences downstream in case of failure. The relative scope of these different features as well as the magnitude of the consequences is very variable and depends on the owners of the structures or on existing regulations.

From a conceptual standpoint, surveillance (with all its activities) can obviously be defined and tailor-made for each dam according to the condition of the dam and the risks. The classification is thus a simpler and more rational way to tailor-make surveillance by establishing families, which are classes of similar structures.

### **3.2. PROGRAMMING SURVEILLANCE ACTIVITIES**

Surveillance activities are programmed according to the classification that predefines the activities and their nature, scope, and frequency for each class of structure. These programmed activities could be adjusted according to the behaviour of the dam as determined in the diagnosis.

### **3.3. INSPECTION OF STRUCTURES**

Visual inspection is the most important way of observing dams. The main goal of this type of inspection is to detect any important phenomena that characterize its condition and to follow their development. It is a source of input for monitoring dam behaviour and for evaluating its safety, and it is performed according to well established procedures.

It is important that these inspections be done by persons being intimately familiar with the dam and its behaviour. They can therefore detect changes, or deterioration, of some of the observed points. Qualification of the personnel who

personnel effectuant ces inspections doit être établie et respectée. Elle peut être adaptée au type d'inspection ou au type d'ouvrage. Cette qualification est faite de formation, d'expérience, de pratique, et de mises à niveau.

L'inspection visuelle fournit des informations qualitatives sur l'état et le comportement du barrage et de ses fondations. Par ailleurs l'auscultation fournit des mesures (quantitatives). Les deux, inspection et auscultation, sont réalisées de manière périodique et complémentaire, voire simultanée. Parfois cependant des inspections spéciales sont nécessaires.

L'inspection implique des examens plus ou moins détaillés de points qui caractérisent l'état d'un barrage au moyen d'observations visuelles méthodiques.

Les inspections sont des examens généraux ou très détaillés par observation visuelle d'un barrage en vue de détecter les phénomènes les plus évidents pouvant affecter sa sécurité, et en suivre l'évolution.

L'inspection visuelle est particulièrement importante car certains défauts localisés comme les fissures et les fuites ou zones humides ne peuvent pas être facilement détectés par des instruments.

Il existe plusieurs types et niveaux d'inspections :

- Les tournées visuelles de routine ou suivi de niveau 1 (quasi continues, quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles, annuelles),
- Les inspections périodiques de niveau 2 (tous les 1 ou 2 ans ou sur demande spéciale, comprenant bilan des résultats d'auscultation, contrôle et essais des équipements, etc.),
- Les inspections plus formelles d'évaluation de la sécurité, au niveau 3 (tous les 5 à 10 ans ou sur demande spéciale; comprenant en plus des inspections détaillées et des investigations techniques autant qu'il est nécessaire),
- Les inspections particulières (sur une partie de l'ouvrage),
- Les inspections spéciales (pour des événements donnés) avec leurs modalités et leurs fréquences.

Les différents types d'inspections sont d'importances différentes et visent des buts différents. Les tournées de routine (très générales et réalisés plus rapidement, comme en conditions hivernales par exemple), puis les inspections régulières (à une périodicité définie) et finalement les inspections d'évaluation de la sécurité (en conjonction avec les réévaluations de la sécurité), forment le cœur d'une surveillance organisée.

Les inspections particulières ou spéciales sont déclenchées par des défauts identifiés sur l'ouvrage ou par des circonstances externes extraordinaires comme les crues ou les séismes.

carry out these inspections has to be defined and followed. This qualification could be adjusted to the level of inspection or to the type of dams. Usually, it is made up of education, experience, training, and continued updating of information.

Visual inspection provides qualitative information about the condition and performance of a dam and its foundation. On the other hand monitoring provides measurement data (quantitative). Both, inspection and monitoring are usually performed periodically, on a complementary basis and even maybe simultaneously. Sometimes, however, special investigations are necessary.

Inspection involves detailed investigating of matters that characterize the condition of a dam through methodical visual observations.

Inspections are of a general nature or very detailed investigations made by visual observation of a dam so as to detect the most obvious phenomena that can affect its safety and then follow their development.

Visual inspection is particularly important since local defects such as cracks or local seepage flows and wet spots cannot be easily detected by instruments.

There are several types and levels of inspection:

- Routine visual inspection visits, or Level 1 regular follow up (continuously, daily, weekly, monthly, annually),
- Periodic or level 2 inspections (every 1 or 2 years or on special requirement, including summaries of monitoring results, checking and testing, etc.),
- Formal safety evaluation inspections, or level 3 formal investigations (every 5 or 10 years, or on special request; including also detailed inspections and technical investigations as far as needed),
- Specific inspections (on a given component),
- Special inspections (for a given event) with their procedure and frequency.

The different types of inspection vary in importance and target different goals. Routine visual inspections (very general and performed rapidly, as in winter conditions for instance), and regular inspections (at a defined intervals), and finally safety evaluation inspections (together with safety reviews), are the nucleus of organized surveillance.

Specific or special inspections are triggered when deficiencies are identified on the structure or when extraordinary external circumstances occur such as floods or earthquakes.

### 3.4. AUSCULTATION DES BARRAGES

Dans le but de suivre et contrôler le comportement des barrages, on en réalise l'auscultation. Ceci consiste à mesurer certains paramètres physiques afin d'en suivre l'évolution. Tout comme l'inspection, l'auscultation fournit des données pour suivre le comportement d'un barrage et évaluer sa sécurité.

L'auscultation est une action de contrôle basée sur des mesures physiques sur un barrage (ou sur des éléments d'un barrage) ou une zone de terrain.

On distingue deux (2) types d'auscultation qui comportent des moyens, des méthodes et sont réalisés parfois par des intervenants différents :

- l'auscultation générale, de type géotechnique et structurale, au moyen d'équipements fixes installés dans le barrage et d'appareils de mesure mobiles. Il importe que l'opérateur qui effectue les mesures puisse valider lui-même les résultats obtenus, en disposant au préalable de valeurs de référence attendues;
- l'auscultation topographique, avec topométrie, nivellements de précision, etc.

Les modalités et fréquences à suivre pour les auscultations sont spécifiées habituellement dans les règles, règlements et directives.

Les principes qui sous-tendent cette activité doivent être également spécifiés.

### 3.5. CONTRÔLE DE LA FONCTIONNALITÉ DES ORGANES D'ÉVACUATION

Le contrôle des organes d'évacuation ou de vidange constitue une activité primordiale pour la sécurité des barrages. Ces organes d'évacuation jouent le rôle vital de "soupapes de sûreté" pour les différents ouvrages de retenue auxquels ils sont rattachés. L'historique des incidents de barrages montre que le sous dimensionnement ou le mauvais fonctionnement des organes d'évacuation sont responsables d'une part prépondérante de ces incidents.

Le contrôle des organes d'évacuation est constitué de deux (2) activités majeures et complémentaires, qui peuvent se dérouler de manière simultanée ou en des périodes différentes. Il s'agit de *l'inspection* des organes d'évacuation, et des *essais de fonctionnement*; ces derniers étant partiels ou complets.

De plus, au-delà de leur fonctionnement propre, ces organes d'évacuation sont souvent munis de sources diverses d'alimentation afin d'avoir une redondance et une autonomie de fonctionnement adéquates. Ces sources d'alimentation alternatives doivent aussi être incluses dans les éléments de vérification lors des inspections et des essais des organes d'évacuation.

Il existe une multitude de types d'organes d'évacuation, comme les pertuis (de fond, de surface ou autre), les vannes (wagons, chenilles, segment, secteur, gonflables, clapets, toits, cylindriques, rouleaux, ...), avec des grilles, des dispositifs de batardage, etc.

### 3.4. MONITORING OF DAMS

In an aim to follow and check dam behaviour, dams are monitored. This involves measuring certain physical parameters so as to monitor their development. As with inspection, monitoring provides input for following dam behaviour and evaluating dam safety.

Monitoring is a control action based on physical measurement on a dam (or elements of a dam) or an area of land.

Two (2) different types of monitoring results from different methods, tools and staff involved:

- Geotechnical and structural monitoring or, monitoring, using instruments fixed in the dam body and mobile measurement devices. It is important the operator proceeding with measurements can himself validate their results, having been previously provided with anticipated reference figures,
- Topographic monitoring, such as geodetic surveys, precise levelling, etc...

The procedures and frequency to be followed in monitoring are usually specified in the rules, regulations and guidelines.

The principles underlying this activity must also be specified.

### 3.5. FLOW CONTROL EQUIPMENT ASSESSMENT

Control of spillways or discharge works is a fundamental activity in dam safety. These works play the vital role of a “safety valve” for the various retaining works to which they belong. The history of dam incidents teaches us that inadequate capacity or malfunctioning of the outlet works is responsible for a major proportion of incidents.

Control of discharge works involves two (2) major and complementary activities that can be conducted simultaneously or at different times. They are *inspection* of the works and *operating tests*. Tests can be partial or comprehensive.

In addition, these discharge works are often equipped with different sources of power supply so as to provide redundancy and adequate operating autonomy. These alternative power supplies must also be included in the elements to be checked during inspections and testing of discharge works.

There are a multitude of types of discharge works, such as outlets (bottom, surface or other), gates (fixed wheel gates, caterpillar, radial, sector, rolling, inflatable, flaps, roof, cylinders, roller drum,...), with trashrack, stoplog beams, etc.

De même, les mécanismes de levage de ces vannes sont différents: certains sont à câbles ou à vis, munis de chariot-treuil (simple, fixe ou mobile) ou de grues portative. À ces différents mécanismes de levage sont associés des voies de roulement, des dispositifs de commande (local ou à distance), des voies d'accès, et des alimentations électriques.

Les différents éléments à considérer dans l'inspection et les essais, au-delà de l'aspect génie civil de l'ouvrage qui retient l'eau du réservoir, sont divers et habituellement très nombreux. On peut citer les vannes (avec membrures, plaques écrans, éléments chauffants, garnitures d'étanchéité...), les roues, les galets, les sabots latéraux, les câbles, les poulies, les tambours, les réducteurs de vitesse (moteur, engrenages, paliers), les vis, les poutrelles, les pièces fixes, etc.

### **3.5.1. Inspection des organes d'évacuation**

L'inspection des organes d'évacuation, alliée à des essais de fonctionnement et à une évaluation (lors d'évaluation de sécurité par exemple) doit être menée de manière à déceler un dysfonctionnement éventuel et à conduire à leur garantie de fonctionnement lorsque requis.

La difficulté des inspections réside dans le fait qu'elles doivent s'assurer du fonctionnement (principalement mécanique et électrique) de composantes qui n'opèrent pratiquement jamais ou qu'en de très rares occasions.

Il apparaît donc important, pour mener à bien les inspections des organes d'évacuation, d'établir au préalable une liste exhaustive des éléments à inspecter, à mesurer, à apprécier, à noter et à documenter.

Ces listes (ou procédures) d'inspection devront être adaptées :

- au type d'inspection à mener (ampleur, fréquence et contenu variable) ;
- au type d'organe d'évacuation visé par l'inspection ;
- au service attendu par l'organe d'évacuation (de l'utilisation très occasionnelle pour crues extrêmes, à l'utilisation récurrente pour les crues régulières des ouvrages au fil de l'eau).

Ces listes devront couvrir tous les éléments à inspecter :

- ceux relatifs à la fonction « ouvrages » à caractère principalement génie civil ;
- ceux relatifs à la fonction « opérationnelle » à caractère structural, mécanique et électrique ;
- ceux relatifs à la redondance de fonctionnement comme l'alimentation électrique principale, secondaire ou de secours et les moyens de télétransmission.

Les inspections pour les organes d'évacuation sont de divers types :

- les inspections de routine, qui ne visent que des éléments particuliers d'une installation, ou un but précis – vérification des éléments chauffants par exemple pour les ouvrages en zone froide ;

Similarly, lifting mechanisms for these gates are different. Some have cables or screws, with a hoist trolley (alone, fixed, or mobile) or a gantry crane. In addition to these different mechanisms, there are runways, control equipment (local or remote), access roads, and power supplies.

The different elements to be taken into account in inspection and testing, over and above the civil aspect of the structure that impounds the reservoir are diverse and usually very numerous. For example, the gates (with beams, screen plating, heating elements, packing seals...) the wheels, rollers, side shoes, cables, pulleys, drums, speed reducers (motor, gears, bearings), the screws, logs, embedded or built-in parts, etc.

### **3.5.1. Inspection of discharge works**

The inspection of discharge works, along with operating tests and safety evaluation (during a dam safety review for example) must be done so as to detect any possible dysfunction and result in guaranteed operability when required.

The difficulty with inspection is that it must ensure that components will work mainly from a mechanical and electric standpoint even though they are practically never or rarely operated.

It is thus important, in order to successfully inspect discharge works, to establish in advance an exhaustive list of the elements to be inspected, measured, assessed, noted and documented.

For inspection purposes, these lists (or inspection procedures) must be adapted:

- to the type of inspection to be done (magnitude, frequency and variable content),
- to the type of discharge works to be inspected,
- to the service expected from the discharge works (from very occasional use for extreme flooding to recurring use for regular flooding of run-of-river structures).

These lists must target all elements that are relevant to inspection:

- elements concerning the mainly civil “structures”,
- elements concerning the structural, mechanical, and electrical operational function,
- elements with redundant operation such as the main, secondary and back-up power supply, and transmission facilities.

Inspection of discharge structures are of different types:

- routine inspections that target specific elements of a facility or with a specific goal – verification of heating elements, for example, for works in cold areas;

- les inspections limitées qui examinent des éléments susceptibles d'usure, de désajustement ou de dégradation. Ces inspections sont habituellement combinées à des actions de maintenance comme des travaux d'entretien mineur, de lubrification ou d'ajustement. Il s'agit de l'inspection des éléments mobiles de surface ou de fond ;
- les inspections formelles qui sont des examens approfondis des divers éléments, alliés habituellement à des essais de fonctionnement. L'ensemble de ces mesures et de ces observations permettent de vérifier la conformité à des données pré établies et de juger de l'état et de la fonctionnalité des organes d'évacuation.

Les différents types d'inspections ont des portées différentes, des fréquences différentes aussi et sont menées par du personnel aux qualifications adaptées au type d'inspection à réaliser.

Il est important d'effectuer des inspections visuelles à intervalles judicieusement rapprochés, sous peine de passer à côté de certaines anomalies. Des moyens d'accès spéciaux, des opérations de mise à sec ou le recours à des vidéos subaquatiques peuvent être requis.

Dans de nombreux pays, des règlements nationaux en prescrivent la réalisation ainsi que la nature et la fréquence. La planification de ces différentes inspections ainsi que leur nature sont définis par le propriétaire-exploitant, en accord avec l'autorité en charge du contrôle de la surveillance.

Il en est de même pour les essais.

### **3.5.2. Essais de fonctionnement**

Les essais de fonctionnement visent à valider la sécurité fonctionnelle des organes d'évacuation. Ils s'adressent principalement aux parties mobiles de ces ouvrages ainsi qu'aux éléments annexes qui en garantissent le fonctionnement (comme les alimentations électriques en redondance, ou les commandes à distance).

Les essais de fonctionnement, tout comme les inspections, sont de nature, d'ampleur et de fréquences différentes. Ils vont des essais limités (fonctionnement partiel de certains éléments) aux essais complets. Certains essais se font sous pleine charge hydraulique ou bien après la pose de batardeaux d'étanchéité en amont. D'autres types d'essais se font avec une ouverture partielle (10 % par exemple) puis refermeture; ce qui permet de tester un domaine de fonctionnement habituellement le plus difficile.

Dans le cadre des contraintes d'exploitation, économiques et environnementales, les essais complets (c'est-à-dire en eau et sous pleine charge) sont préférables aux autres types d'essais.

Les essais de fonctionnement doivent donc être effectués :

- en différents types d'ampleurs différentes, et être bien déterminés à l'avance ;
- à des temps prédéterminés (fréquence établie à respecter) ;



- limited inspections that examine elements likely to wear, to become poorly adjusted, or to deteriorate. The inspections are usually combined with maintenance actions such as minor repair works, lubrication, or adjustments. This involves inspection of mobile surface or bottom elements;
- formal inspections that are in-depth studies of various elements, usually linked to operating tests. All of these measurements and observations make it possible to verify the compliance with pre-set data and to judge the condition and operability of the discharge works.

The different types of inspections have different scopes and frequencies and are conducted by personnel with suitable qualifications for the type of inspection to be conducted.

It is important to undertake close up visual inspections whenever possible, otherwise deficiencies may be missed. Special access arrangements or dewatering actions or underwater cameras may be required.

In many countries, national regulations specify the need, nature and frequency of inspections. The scheduling and the detail of the different inspections are defined by the owner-operator, in agreement with the authority in charge of dam surveillance control.

Operating tests are relevant of similar comments.

### **3.5.2. Operating tests**

Operating tests aim to validate the operating security of the discharge works. They mainly involve moving parts of these structures as well as the auxiliary elements that ensure their operation (such as redundant power supply or remote controls).

Operating tests along with inspections vary in nature, magnitude, and frequency. They go from limited tests (partial operation of certain elements) to fully comprehensive tests. Some others tests are conducted with full hydraulic load opening or else when elements are placed in advance upstream to block the water (beams, for example). Other types of tests are conducted with partial opening (10%, for example) and then are closed. This makes it possible to test the operation of parts that are ordinarily the hardest to operate.

Within operational, economical and environmental constraints, fully comprehensive tests (e.g. wet tests under full head) are preferable under other modes of operation.

A program for operating tests must then be established:

- with different types of tests of different magnitude and be well determined in advance,
- at predetermined times (established frequency to be followed),

- en spécifiant les données, mesures, limites ou appréciations qui devront être documentées, et comparées aux valeurs prévues ;
- avec des procédures précises et préétablies adaptées au type d'organe d'évacuation à tester.

Les essais de fonctionnement, qui exigent des ouvertures même partielles et donc des lâchers d'eau, doivent être maîtrisés afin de :

- gérer les impacts éventuels en amont et en aval lors des ouvertures partielles ou complètes des vannes. Les risques pour la population et l'environnement devant être pris en compte et suffisamment contrôlés ;
- respecter les ententes éventuelles, prises avec des tiers ou d'autres parties prenantes ;
- gérer l'impact des pertes hydrauliques et économiques engendrées par ces lâchers d'eau.

En dernier recours, des analyses fonctionnelles bien établies et documentées peuvent remplacer les essais si elles donnent l'assurance d'un fonctionnement correct.

### **3.6. SUIVI DU COMPORTEMENT**

On doit réaliser le suivi des barrages afin d'en évaluer l'état et le comportement, selon des modalités définies.

Le suivi du comportement est une activité d'analyse périodique des résultats d'inspections, des mesures d'auscultation, des investigations particulières et du journal des travaux de maintenance effectués.

Le suivi du comportement est fait par un professionnel, en général un ingénieur qualifié, afin d'apprécier le comportement réel du barrage par rapport à son comportement attendu (suite à sa conception et sa construction).

Il est important d'examiner les mesures inhabituelles (sortant des plages de valeurs attendues) et d'en trouver les raisons. Il faut aussi porter une attention spéciale aux mesures qui évoluent progressivement dans le temps : cela peut indiquer le développement d'un problème potentiel.

La comparaison avec d'autres ouvrages du même type, ou édifiés sur des fondations comparables, est également très utile.

### **3.7. DIAGNOSTIC**

Le diagnostic du comportement du barrage est le résultat de procédures formalisées, plus ou moins intégrées au programme de suivi du comportement du barrage.

- with data, measurements, limits or assessments that must be documented, and compared with expected values,
- with specific pre-set methods adapted to the type of discharge works to be tested.

Operation tests, which require opening manoeuvres even if partial (i.e., with release of water) must be controlled so as to:

- manage possible upstream and downstream impacts when gates are opened partially or fully; take into account and control sufficiently any risks to the population and the environment,
- respect possible agreements reached with third parties or stakeholders,
- manage the impact of hydraulic and economic losses caused by the release of water.

As a last resort, well-established and documented operation analyses may replace operation tests if they provide assurance that the equipment can perform properly.

### **3.6. PERFORMANCE MONITORING**

Dams must be monitored in order to evaluate their condition and their behaviour, based on defined procedures.

Monitoring behaviour is an activity involving periodical analysis of inspection results, monitoring data, special studies, and maintenance records.

Monitoring behaviour analysis is done by a professional, usually a qualified engineer, so as to appraise the observed behaviour of the dam compared to its expected behaviour (based on design and construction).

It is important to look for any unusual readings (different from expected ranges) and to determine whether there is any explanation for them. One must also pay close attention to any reading that may be gradually increasing or changing over time: that may indicate the development of a potential problem.

Comparison with the behaviour of other dams of the same type, or having similar foundations, is also very useful.

### **3.7. DIAGNOSIS**

Diagnosis of dam behaviour consists of formal procedures, more or less integrated in the monitoring program for a dam.

Elles visent à évaluer les marges effectives de sécurité, et mettre à jour le degré requis de respect des consignes de sécurité (fonctionnalités des parties constituantes du barrage, cotes observées sur le niveau de la retenue...)

Le diagnostic doit être fait par un ingénieur convenablement qualifié et/ou compétent. Il doit comporter une évaluation sur l'état du barrage et des recommandations pour garantir le maintien de sa sécurité et son bon comportement dans le temps.

### **3.8. ARCHIVAGE DES DONNÉES**

Il faut consigner, mettre à jour et conserver les données relatives aux barrages obtenues lors des activités de surveillance (inspections et auscultations), dans un système d'archivage reconnu, dédié et fiable. Les résultats de mesures, les relevés des activités d'inspection, d'auscultation, de suivi de comportement et de diagnostic doivent être consignés et conservés tout au long de la vie de l'ouvrage. Les procédures d'archivage doivent permettre un accès aisé pour analyses comparatives.

Il s'agit du « devoir de mémoire » que les maîtres d'ouvrage se doivent d'appliquer aux données issues de la surveillance de leurs structures.

Pratiquement, l'archivage bien ordonné doit couvrir toute la vie du barrage, depuis les premières études sur le site et l'ensemble du projet, la construction, la première mise en eau, ainsi que tous les événements marquants, crues ou vidanges prononcées de la retenue ; ainsi que tous travaux de réparation ou transformation.

Il faut aussi rendre la documentation aisément accessible et exploitable avec des dossiers de référence de synthèse périodiquement mis à jour (souvent appelés Monographie, et Manuel d'Exploitation et de Surveillance).

They aim at evaluating the margins of safety, and up-dating the degree to which safety instructions are to be followed (operability of dam components, water levels observed on the structure...).

The diagnosis must be done by an appropriately qualified and/or competent engineer. It should include an assessment of the condition of the dam and recommendations for ensuring ongoing safety and long term performance.

### **3.8. DAM SAFETY DATA MANAGEMENT**

Data collected during surveillance activities (inspections and monitoring) must be recorded, updated, and kept in a known, dedicated, and reliable archiving system. The results and the output from inspection, monitoring, behaviour monitoring, and diagnosis activities must be recorded and kept throughout the life of the structure. Data archiving procedures must allow for easy access for comparative analyses.

This is the “duty of memory” that dam owners must apply to data obtained from surveillance of their structures.

Practically, filing dam documentation should cover the whole life of the dam, since the first site studies including the whole design and construction, first impounding, and any remarkable events such as floods or important reservoir drawdown; and also all repair or modification works.

It is also necessary that the dam documentation be easily accessible and usable, with consolidated reference documents periodically up-dated (Reference book, and Operation and Surveillance Manual).

---

## 4. PRINCIPES ET RÈGLES

---

### 4.1. RÈGLES GÉNÉRALES

Tout barrage ou ouvrage de retenue est conçu puis construit et finalement exploité de manière à pouvoir faire face à diverses conditions particulières et bien définies.

Ces conditions prédéterminées sont élaborées pour différents modes d'exploitation dits normaux, avec des cotes d'exploitation, mais aussi pour des conditions extrêmes comme les crues, les séismes, les glaces, l'alluvionnement, les remplissages et les vidanges. Au-delà même de ces conditions extrêmes, le concepteur ou l'exploitant gardera une marge dans les facteurs de sécurité et/ou dans les réserves de matière constituante de l'ouvrage (épaisseur de rip-rap par exemple), afin de pallier les dégradations dans le temps après la construction. Les possibilités de dégradations doivent être sérieusement étudiées.

Chaque barrage possède des caractéristiques et des éléments particuliers dont la performance attendue est définie pour faire face et résister à ces conditions.

L'auscultation d'un barrage est une action de surveillance qui s'effectue en fonction de la performance attendue du barrage face aux conditions de chargement, pour en assurer la sécurité et la pérennité.

Idéalement, dans une approche conceptuelle, toute surveillance d'un barrage ou ouvrage de retenue devrait reposer sur la réponse aux trois questions ou thèmes suivants :

- Pourquoi surveiller ? Que voulons-nous voir, suivre, mesurer qui justifie la surveillance requise ?
- Quoi surveiller ? Une fois le besoin cerné, identifié et bien précisé, on peut alors définir ce qu'il faut surveiller.
- Comment surveiller ? Le besoin étant identifié, on devrait déterminer comment surveiller l'objet de la surveillance, objet qui répond au besoin identifié dans une optique d'assurer la sécurité du barrage ou de l'ouvrage de retenue.
- Est-ce que la surveillance (et en particulier l'auscultation) considère des modes de rupture potentiels identifiés ? Sinon il faudra s'interroger sur le pourquoi d'une telle surveillance.

### 4.2. PRINCIPES PARTICULIERS

La surveillance des barrages vise à déceler, par observation visuelle et par auscultation, *tout phénomène pouvant compromettre l'intégrité structurale et fonctionnelle* d'un ouvrage ou de ses organes et équipements d'exploitation.

---

## 4. PRINCIPLES AND RULES

---

### 4.1. GENERAL RULES

Any dam or retaining structure is designed and built and then operated so as to be able to withstand different specific well defined conditions.

The predetermined conditions are developed for different so-called standard operating modes, with operating levels, but also for operation under extreme conditions such as flooding, earthquakes, ice, sedimentation, impounding, and drawdown. Beyond these extreme conditions, the designer or operator will maintain margin in the safety factors and/or sufficient reserve of materials (e.g. thickness of rip-rap), so as to allow for degradation over time following construction. Potential degradation must be seriously investigated.

Each dam has specific features and components with defined performance levels which are to be met to avoid unacceptable reduction in safety margins.

Monitoring of a dam is a surveillance action that is conducted based on the expected performance of the dam with regards to load conditions so as to ensure dam safety and durability.

In a conceptual approach, a dam or retaining structure surveillance program should ideally be based on the answers to the following questions and topics:

- Why surveillance? Why do we want to see, monitor, and measure thereby justifying the required surveillance?
- What is under surveillance? Once the need is circumscribed, identified, and well established, it is possible then to define what is to be monitored.
- How is surveillance to be performed? When the need is identified, it must be determined how the subject of the surveillance is monitored, the subject meeting the need identified so as to ensure the safety of the dam or the retaining structure.
- Does the surveillance (particularly monitoring) relate to identified potential failure modes? If not, then the question should be asked, for what purpose is the surveillance being done?

### 4.2. SPECIFIC PRINCIPLES

Dam surveillance aims to detect, by visual observation and monitoring, *any phenomenon that can compromise the structural and operating integrity* of a structure or its related operating equipment.

Elle commence par vérifier la conformité du comportement de l'ouvrage et de ses fondations aux hypothèses, explicites ou même seulement implicites, du projet. Cela peut passer par la comparaison à des modèles de calcul.

L'accent étant mis sur les mécanismes de rupture précisés pour chaque barrage, les activités de surveillance visent la *détection des signes d'alarme précurseurs* liés à ces mécanismes avant qu'ils ne deviennent incontrôlables.

L'inspection, l'auscultation et le suivi du comportement sont réalisés d'une manière appropriée à l'état de chacun et au degré de risque qu'il représente.

L'approche à privilégier et à retenir pour la surveillance et principalement l'auscultation des barrages repose sur :

- la place prépondérante accordée aux inspections visuelles dans le cadre d'un suivi régulier de comportement des barrages et de la détection précoce des phénomènes pouvant en compromettre la sécurité ;
- une surveillance et une auscultation ciblées toutes deux vers la détection des phénomènes indicateurs de mécanismes potentiels de dégradation ou de rupture. Le suivi régulier des autres paramètres de comportement, non reliés aux mécanismes de rupture, s'effectue sur une base « faible coût, grande valeur ajoutée » ;
- la prépondérance du suivi des paramètres de comportement à caractère global et évolutif par rapport au suivi de ceux à caractère local et statique ou à évolution lente ;
- une programmation des relevés qui permette une comparaison et une complémentarité adéquates de résultats requis simultanément (piézométrie-débits de fuites, ou pendule-température-réservoir par exemple).

La mise en œuvre de tels systèmes suit les critères suivants :

1. le système d'auscultation mis en place à la construction est principalement axé sur la vérification des paramètres de conception et de construction, à la construction et au premier remplissage puis durant les premières années d'exploitation du barrage ;
2. une évolution progressive graduelle vers un système axé sur les données nécessaires au diagnostic et à l'évaluation de la sécurité, les particularités spécifiques du barrage et la détection de phénomènes pouvant mener aux mécanismes de rupture.

Tout système d'acquisition automatique des données est installé dans le respect des principes suivants :

- l'intégrité des données est garantie, qu'il s'agisse de mesures ou de transfert vers un système d'archivage dédié,
- les données sont archivées de façon à ce qu'elles soient consultables en tout temps (même et surtout en période d'urgence),
- les limites de fonctionnement normal sont à définir à l'avance, pour la détection et le signalement des anomalies,
- un journal des alarmes à jour est disponible en tout temps.



It starts by checking that the dam and its foundation behaviour cope with the design hypotheses, either explicit or implicit. This may be based on comparison with calculation models.

Based on the potential failure mechanisms identified for each dam, the surveillance activities aim *to detect precursory warning signs* linked to these mechanisms before they become uncontrollable (or remedial works become too expensive).

Inspection, monitoring, and performance monitoring are performed in a manner that suits the condition of each structure and the degree of risk each structure poses.

The approach to be favoured and retained for dam surveillance and monitoring is based on:

- the prominent role of visual inspections as part of regular monitoring of dam behaviour and early detection of phenomena that can compromise dam safety.
- surveillance and monitoring that both target the detection of phenomena indicative of potential deterioration or failure mechanisms. Regular monitoring of other behavioural parameters, not linked to failure mechanisms, is conducted based on “low cost, high value”.
- the preponderance of monitoring of behaviour parameters which are comprehensive and evolving in nature as compared to monitoring of local, static, or slowly evolving parameters.
- a surveying program that enables adequate comparison of simultaneous results as required (e.g., piezometric elevation-weir flow, or reservoir level-temperature- pendulum displacement measurements).

Implementation of these systems meets the following criteria:

1. the monitoring system is initially centred on the verification of the design and construction parameters during construction and first impounding, and during the first years of dam operation.
2. a gradual migration towards a system centred on the data needed for diagnostic and safety evaluation, specific to the dam and detection of phenomena that can lead to failure mechanisms.

Any automatic data acquisition system is installed according to the following principles:

- data integrity is guaranteed, be it measurement data or the transfer to a dedicated archiving system,
- the data are archived so as to be available for consultation at all times (even and above all during emergencies),
- limits of normal operation are to be predefined, for abnormality detection and warning,
- an up-to-date alarm log is available at all times.

### **4.3. AUTRES CONSIDÉRATIONS**

Les faiblesses ou les déficiences d'un ouvrage peuvent être identifiées par des changements (signes avant-coureurs) dans le comportement du barrage, de sa fondation, de ses appuis ou par des venues d'eau.

Un comportement inhabituel, quelle qu'en soit l'importance, doit être identifié et enregistré car n'importe quelle condition inhabituelle pourrait être annonciatrice du développement d'une situation potentiellement dangereuse.

La surveillance doit couvrir l'ensemble de l'aménagement et de la retenue.

Les inspections visuelles sont des moyens fondamentaux et fiables pour détecter des détériorations ou des mauvais fonctionnements.

La qualification, l'implication et l'engagement du personnel de surveillance sont très importants. Une personne démotivée, complaisante ou submergée lorsqu'aux prises avec de volumineuses données récoltées ne devrait pas être assignée à une telle tâche.

L'analyse poussée de quantités de données, plutôt que de données de qualité, peut être attirante surtout avec les outils modernes de traitement de données... mais peut faire perdre la vision de conditions adverses évidentes qu'un examen simple et réaliste permettrait de détecter.

### **4.3. OTHER CONSIDERATIONS**

The weaknesses or deficiencies of a structure can be identified by changes (warning signs) in the behaviour of a dam, in its foundation, in the abutments or by seepage.

Unusual behaviour, with no special consideration regarding importance, must be identified and recorded since any unusual condition can herald the development of a potentially dangerous situation.

Surveillance must cover the entire facility (dam, rim of the reservoir and appurtenant works).

Visual inspections are fundamental and reliable ways to detect deterioration or faulty operation.

The qualification of surveillance personnel along with their involvement and commitment is very important. A person who loses interest, becomes uncritical or is overwhelmed when faced with vast amounts of data collected should not be assigned to such tasks.

In-depth analysis of quantities of data, and not necessarily quality data, can be attractive especially with modern data processing tools, but this can make it harder to observe obvious adverse conditions that a simple and realistic investigation can detect.

---

## 5. L'AUSCULTATION EN LIEN AVEC LA MÉTROLOGIE

---

Les principes et les règles gouvernant les activités d'auscultation d'un barrage en vue d'en assurer une surveillance suffisante, juste et pertinente doivent être définis.

### 5.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

#### 5.1.1. Instrumentation

L'auscultation d'un barrage se fait, dans la mesure du possible, en fonction des principes généraux suivants :

- la prise de mesures directes, avec un minimum d'interfaces entre l'instrument et le composant à ausculter ;
- l'utilisation d'instruments et de capteurs simples, robustes et faciles à installer, à étalonner; entretenir et utiliser ;
- la redondance, point essentiel : il faut suffisamment de recouvrements pour tous les paramètres critiques mesurés.

#### 5.1.2. Systèmes d'auscultation

Les systèmes d'auscultation sont manuels ou automatiques. Le recours à des systèmes d'acquisition automatique devrait être justifié. Ce pourrait être les cas suivants :

- comportement particulier (atypique) du barrage nécessitant des relevés à fréquence rapprochée,
- barrages d'accès difficile ou coûteux,
- barrages de valeur stratégique ou pour d'autres considérations économiques.

La conception d'un système d'auscultation repose sur les considérations suivantes :

- prise en compte du comportement du barrage, réel ou prévu,
- ceci s'applique également à la ré-instrumentation d'un barrage ou au recours à un système d'acquisition automatique de données (SAAD),
- choix approprié d'instruments (familles et types) et du degré de redondance, en fonction du paramètre recherché,
- niveau de fiabilité adéquat, de même qu'une plage de mesures et un degré de précision compatibles avec le phénomène prévu,

---

## 5. MONITORING LINKED TO METROLOGY

---

The principles and rules for the monitoring of a dam shall be established to ensure sufficient, reliable and relevant results of the surveillance.

### 5.1. GENERAL PRINCIPLES

#### 5.1.1. Instrumentation

Monitoring of a dam is performed in as much as possible based on the following general principles:

- Reading of direct measurements with a minimum of interfaces between the instrument and the component being monitored;
- Use of simple, robust instruments and sensors that are easy to install, calibrate, maintain and operate;
- Redundancy is a key point. Sufficient redundancy should therefore be provided for all critical parameters measured.

#### 5.1.2. Monitoring systems

Monitoring systems are either manual or automatic. The latter should be justified. It may be applied to the following cases:

- particular (non-typical) behaviour of a dam requiring frequent readings at short intervals;
- dams where access is difficult or costly;
- dams of strategic value or for other economic considerations.

The design of a monitoring system is based on the following considerations:

- The predicted and/or observed behaviour of the dam;
- This also applies to the re-instrumentation of a dam or recourse to an Automatic Data Acquisition System (ADAS);
- A suitable choice of instruments (family and type) and the degree of redundancy, based on the parameter to be monitored;
- An adequate level of reliability as well as a range of measurement and a degree of precision compatible with the foreseen phenomenon;

- couverture adéquate des phénomènes liés au comportement du barrage, de ses fondations et appuis ainsi que de ses ouvrages annexes.

### **5.1.3. Interprétation**

L'analyse des données doit permettre de saisir nettement la distinction entre le comportement de l'instrumentation et le comportement réel du barrage, à partir :

- des critères d'interprétation des données,
- de corrélations reposant sur les données chronologiques ou le comportement projeté,
- de limites préétablies de plausibilité des données.

## **5.2. PRINCIPES DE MESURE EN SURVEILLANCE DES BARRAGES**

L'auscultation a pour objectif de mesurer certains paramètres physiques d'un barrage afin d'en suivre l'évolution.

Cette activité de surveillance est encadrée de plusieurs façons par la métrologie qui définit comment et avec quelle exactitude les mesures sont prises, et ce, en fonction d'un objectif de mesure établi lors de la conception, de la construction ou de l'évaluation de la sécurité d'un barrage.

L'application de la métrologie intervient principalement dans les cas suivants :

- lors de la vérification des systèmes et des équipements de mesure, par la définition des programmes de maintenance et des exigences d'étalonnage,
- lors de la prise de mesures, par l'élaboration de méthodes uniformes,
- lors de la validation des mesures, par l'élaboration de procédures de validation sur le terrain et par la détermination de l'erreur liée à chaque système de mesure.

- Adequate coverage of phenomena linked to dam behaviour, its foundations and abutments as well as related components.

### **5.1.3. Interpretation**

By analysing the data, it must be possible to clearly distinguish the difference between the behaviour of the instrumentation and the real behaviour of the dam, based on:

- Data interpretation criteria;
- Correlations based on chronological data or predicted behaviour;
- Preset limits of data plausibility.

## **5.2. DAM SURVEILLANCE MEASUREMENT PRINCIPLES**

The goal of monitoring is to measure certain physical parameters of a dam so as to follow its evolution.

This surveillance activity is controlled in several ways by metrology, which defines how and to what degree of precision measurements are taken, all of which is based on measurement objectives established during the design, construction or safety evaluation of a dam.

Metrology is applied mainly in the following cases:

- During verification of systems and measurement equipment, by the definition of maintenance programs and calibration requirements;
- When measurements are taken, by development of uniform procedures;
- During validation of measurements, by the development of validation procedures in the field and by the determination of the standard error linked to each measurement system.

---

## 6. REFERENCES / RÉFÉRENCES

---

**ICOLD Bulletin 60 (1988)** merging of Bull. **21 (1969)** & **23 (1972)**  
**Dam monitoring, General considerations**

**ICOLD Bulletin 62 (1988)**  
**Inspection of dams following earthquakes, Guidelines**  
/ Committee on Seismic Aspects of Dam Design (A. Bozovic)

**ICOLD Bulletin 68 (1989)**  
**Monitoring of dams and their foundations, State of the Art**  
Overview (14 p.), and 11 nos. National Reports : (9 english + 2 biling.) = 292 p. append.

**ICOLD Bulletin 87 (1992)**  
**Improvement of existing dam monitoring, Recommendations and case histories**  
15 pages main text + 75 pages append.: 12 examples, from 7 countries

**ICOLD Bulletin 118 (2000)**  
**Automated Dam Monitoring Systems, Guidelines and case histories**  
2 x 83 pages (main text bilinguist) + 83 pages annexes (English only)  
with 12 case histories from 11 countries

**ICOLD Question 78 (2000)**, Beijing Congress  
**Monitoring of dams and their foundations / Auscultation des barrages et de leurs fondations**  
Vol. III: 1545 pages, 85 reports + General Report by Elmo DIBIAGIO, and vol. V: pp. 259-414.

BETCGB (France, 2002)  
**Guide Contrôle des Barrages en Exploitation**  
21 p. et annexes.

Swiss Committee on Dams / Comité suisse des barrages (2006)  
**Dam Monitoring Instrumentation, Concepts, Reliability and Redundancy**  
**Dispositifs d'auscultation des barrages, Concept, fiabilité et redondance**

Swiss Committee on Dams / Comité suisse des barrages (2006)  
**Aktensammlung über die Stauanlage – Dossier de l'ouvrage d'accumulation**

The World Bank (2002)  
**Regulatory Frameworks for Dam Safety**, a comparative study  
Daniel D. Bradlow, Alessandro Palmieri, Salman M.A. Salman





Imprimerie de Montlignon  
61400 St Hilaire le Châtel  
Dépôt légal : Mai 2009  
N° 24992  
ISSN 0534-8293





---

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS  
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES  
151, boulevard Haussmann - 75008 Paris - France  
Téléphone : (33) 01 53 75 16 52 - Fax : (33) 01 40 42 60 71  
<http://www.icold-cigb.org/>