

# INSPECTION OF DAMS

## Following earthquake guidelines

# INSPECTION DES BARRAGES

## Après Séisme recommandations

**Bulletin 166**

INSPECTION OF DAMS - Following earthquake guidelines  
INSPECTION DES BARRAGES - Après Séisme recommandations



**2016**

Cover/Couverture :

Cover illustration: Rockfall at the left abutment above the morning glory spillway of the 105 m high Sefid Rud buttress dam, caused by the magnitude 7.4 Manjil earthquake of June 20, 1990 (Alborz Mountains, Iran) (Photo M. Wieland) / *Des chutes de pierres sur l'appui gauche de l'évacuateur de crue en tulipe, du barrage à contreforts de 105 m de haut de Sefid Rud, causes par le séisme de magnitude 7,4 de Manjil du 20 juin 1990 (Montagnes Alborz, Iran) Photo M. Wieland*

**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 English  
French translation by the Comité des Grands Barrages du Burkina Faso  
Layout by Nathalie Schauner

*Texte original en anglais  
Traduction en français par le Comité des Grands Barrages du Burkina Faso  
Mise en page par Nathalie Schauner*

# **INSPECTION OF DAMS**

## **Following earthquake guidelines**

# **INSPECTION DES BARRAGES**

## **Après Séisme recommandations**

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS  
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES  
61, avenue Kléber, 75116 Paris  
Téléphone : (33-1) 47 04 17 80 - Fax : (33-1) 53 75 18 22  
<http://www.icold-cigb.org/>

COMMITTEE ON SEISMIC ASPECTS OF DAMS DESIGN

COMITE SUR LES ASPECTS SISMIQUES DES PROJETS DE BARRAGES

*Chairman/Président*

Switzerland/Suisse

M. WIELAND

*Vice-Chairman/Vice-Président*

China/Chine

H. CHEN

Japan/Japon

N. MATSUMOTO

*Secretary/Secrétaire*

France

M. LINO

*Members/Membres*

Algeria/Algérie

K. BENSEGHIER

Argentina/Argentine

J. CARMONA

Australia/Australie

I. LANDON-JONES

Austria/Autriche

G. ZENZ

Canada

T. LITTLE

Chile/Chili

G. NOGUERA

Costa Rica

A. CLIMENT

Egypt/Egypte

A.M. SHALABY

Germany/Allemagne

C. KOENKE

India/Inde

M. GOPALAKRISHNAN

Iran

A. MAHDAVIAN

Italy/Italie

A. CASTOLDI

Korea/Corée

H.S. KIM

FYR of Macedonia/ex-Rép. Yougoslave de Macédoine

L. PETKOVSKI

Mexico/Mexique

M. ROMO

Norway/Norvège

K. HOEG

Pakistan

G.M. ILYAS

Portugal

P.S. SECO E PINTO

Russia/Russie

V. BRONSHTEYN

Serbia/Serbie

A. BOZOVIC

Spain/Espagne

F. BLAZQUEZ PRIETO

Thailand/Thaïlande

T. HARNPATTANAPANICH

U.K./R.U.

J.L. HINKS

U.S.A./E.U.

J.L. EHASZ

---

## SOMMAIRE

---

---

## CONTENTS

---

AVANT PROPOS

FORWORD

INTRODUCTION

INTRODUCTION

1. PREPARATION ET PLANIFICATION DE LA REPONSE AUX SEISMES
2. DETECTION DES SEISMES ET ALARMES
3. INSPECTION IMMEDIATE APRES LE SEISME
4. INSPECTION SUPPLÉMENTAIRE

1. EARTHQUAKE PREPAREDNESS & PLANNING
2. EARTHQUAKE DETECTION AND ALARMS
3. IMMEDIATE INSPECTION FOLLOWING EARTHQUAKE
4. FOLLOWUP ENGINEERING INSPECTION

ANNEXE 1 - ECHELLE D'INTENSITE MODIFIEE DE MERCALLI DE 1931 (RESUMÉ)

APPENDIX 1 - MODIFIED MERCALLI INTENSITY SCALE OF 1931 (ABRIDGED)

ANNEXE 2 - SYSTEME D'ALERTE EN CAS DE SEISME

APPENDIX 2 - EARTHQUAKE ALARM SYSTEMS

ANNEXE 3 - RAPPORT D'ALERTE EN CAS DE SEISME

APPENDIX 3 - EARTHQUAKE ALARM REPORT

ANNEXE 4 - EFFETS DES SEISMES SUR LES FUITES ET LES SOUS-PRESSIONS

APPENDIX 4 - EFFECTS OF EARTHQUAKES ON LEAKAGE AND UPLIFT PRESSURES

ANNEXE 5 - REFERENCES

APPENDIX 5 - REFERENCES

ANNEXE 6 - FICHES D'INSPECTION

APPENDIX 6 - INSPECTION CHECKLISTS

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

INTRODUCTION .....	12
1. PRÉPARATION ET PLANIFICATION DE LA RÉPONSE AUX SÉISMES .....	14
2. DÉTECTION DES SÉISMES ET ALARMES .....	18
2.1. Collecte des données sur le séisme .....	18
2.2. Alertes aux séismes et recommandations .....	20
3. INSPECTION IMMÉDIATE APRÈS LE SÉISME .....	22
3.1. Quand le réseau de communication est fonctionnel .....	22
3.2. Quand le réseau de communication n'est pas fonctionnel .....	28
4. INSPECTION SUPPLÉMENTAIRE .....	30
4.1. Modes et causes possibles de rupture .....	30
4.1.1. Défauts des appuis et des fondations .....	34
4.1.2. Évacuateurs de crues et ouvrages de vidange .....	34
4.1.3. Percolation .....	36
4.1.4. Matériaux défectueux ou médiocres .....	36
4.1.5. Surcharges des barrages en béton .....	36
4.1.6. Défauts des bords de retenue .....	38
4.2. Détails de l'inspection après un séisme .....	38
4.2.1. Barrage en remblai .....	38
4.2.2. Barrages en béton ou en maçonnerie .....	40
4.2.3. Appuis et fondations .....	42
4.2.4. Retenue .....	42
4.2.5. Glissements de terrains .....	44
4.2.6. Ouvrages annexes .....	44
ANNEXE 1 - ECHELLE D'INTENSITÉ MODIFIÉE DE MERCALLI DE 1931 (RESUMÉ) .....	48

---

## TABLE OF CONTENTS

---

INTRODUCTION .....	13
1. EARTHQUAKE PREPAREDNESS & PLANNING .....	15
2. EARTHQUAKE DETECTION AND ALARMS .....	19
2.1. Seismic data collection .....	19
2.2. Earthquake warnings and recommendations .....	21
3. IMMEDIATE INSPECTION FOLLOWING EARTHQUAKE .....	23
3.1. When communication links are in place .....	23
3.2. When communication links are not available .....	29
4. FOLLOWUP ENGINEERING INSPECTION .....	31
4.1. Possible modes and causes of failure .....	31
4.1.1. Abutment and Foundation Deficiencies .....	35
4.1.2. Spillway and Outlet Works .....	35
4.1.3. Seepage .....	37
4.1.4. Defective or Inferior Materials .....	37
4.1.5. Concrete Dam Overstressing .....	37
4.1.6. Reservoir Margin Defects .....	39
4.2. Features to be inspected after earthquake .....	39
4.2.1. Embankment Dams .....	39
4.2.2. Concrete and Masonry Dams .....	41
4.2.3. Abutments and Foundation .....	43
4.2.4. Reservoir .....	43
4.2.5. Landslides .....	45
4.2.6. Appurtenant Structures .....	45
APPENDIX 1 - MODIFIED MERCALLI INTENSITY SCALE OF 1931 (ABRIDGED) .....	49

ANNEXE 2 - SYSTÈME D'ALERTE EN CAS DE SÉISME .....	50
ANNEXE 3 - RAPPORT D'ALERTE EN CAS DE SÉISME .....	60
ANNEXE 4 - EFFETS DES SÉISMES SUR LES FUITES ET LES SOUS-PRESSIONS .....	62
ANNEXE 5 - RÉFÉRENCES .....	68
ANNEXE 6 - FICHES D'INSPECTION .....	70
6.1. Fiche d'inspection pour tout le barrage .....	70
6.2. Fiche d'inspection pour barrage en remblai .....	72
6.3. Fiche d'inspection pour barrage en béton .....	88



APPENDIX 2 - EARTHQUAKE ALARM SYSTEMS .....	51
APPENDIX 3 - EARTHQUAKE ALARM REPORT .....	61
ANNEXE 4 - EFFECTS OF EARTHQUAKES ON LEAKAGE AND UPLIFT PRESSURES .....	63
APPENDIX 5 - REFERENCES .....	69
APPENDIX 6 INSPECTION CHECKLISTS .....	71
6.1. Inspection checklist for all dams .....	71
6.2. Inspection checklist for embankment dam .....	73
6.3. Inspection checklist for concrete dam .....	89

---

## AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

---

Les grands barrages doivent pouvoir résister au plus grand séisme attendu au site du barrage. Toutefois, des dommages importants peuvent être acceptés aussi longtemps qu'il n'y ait pas de déversement catastrophique de l'eau du réservoir. Par conséquent, après un séisme majeur, et en fonction des dommages observés, il peut être nécessaire d'abaisser le niveau du réservoir ou de prendre des mesures de sécurité pour la population touchée par la défaillance d'un barrage. Les mesures à prendre pour différentes intensités de secousses sismiques et les niveaux de dommages qu'ils causent doivent être spécifiés dans les plans d'urgence, ce qui correspond actuellement à l'état de la pratique pour les barrages très sensibles aux séismes.

En conséquence, l'inspection des barrages après les séismes est un aspect important du concept de sécurité intégrale du barrage. Comme très peu de barrages construits selon les techniques modernes et les concepts de sécurité promus par la CIGB ont été soumis à des grands séismes ou ont été endommagés par un séisme majeur, la connaissance des performances des barrages pendant ce type d'événements est limitée. Comme on a pu l'observer sur d'autres structures, il est bien possible que de nouveaux types de défaillance apparaissent si un de ces barrages modernes était soumis à un séisme similaire à celui pris en compte dans l'évaluation sismique du projet. Les listes-types présentées dans ce bulletin permettront (i) un recensement systématique des dommages causés par les séismes, et (ii) une rapide évaluation de la sécurité du barrage et des mesures à prendre.

Ce bulletin a été publié pour la première fois en 1988. Depuis lors, quelques séismes se sont produits et ont causé des dommages aux barrages. Nous espérons que les personnes en charge de la sécurité des barrages auront un libre accès à cette publication afin qu'elle serve effectivement à l'évaluation des barrages. Cela n'a pas été le cas par le passé et on ne sait pas si la liste-type a été utilisée ou pas. Le besoin de ces listes-types a été démontré par le séisme de Bhuj en Inde en 2001, quand 240 barrages (essentiellement des petits barrages en terre) ont été endommagés et nécessitaient réparations et renforcements. On peut citer aussi le séisme de magnitude 8 qui s'est produit le 12 mai 2008 dans la province de Sichuan en Chine, avec plus de 1500 barrages et réservoirs qui ont été endommagés à différents niveaux. De plus, après le séisme de magnitude 7.2 de Iwate-Miyagi Nairiku au Japon le 14 juin 2008, 134 barrages ont été inspectés. Avec le présent bulletin, il sera possible de faire une évaluation sérieuse des dommages causés par un séisme et de la sécurité des barrages après des séismes majeurs.

Nous espérons aussi que ce bulletin servira de base pour le développement des procédures d'inspection par les structures responsables des barrages.

Au nom du comité des aspects sismiques des projets de barrages de la CIGB, j'exprime ma reconnaissance au Comité américain des barrages pour le travail accompli pour la préparation de leur bulletin « recommandations pour l'inspection des barrages après les séismes » qui a servi de base à notre propre bulletin. Le Comité américain des barrages a mis à jour son bulletin et les changements introduits ont été pris en compte dans la révision de ce bulletin de la CIGB.

Je remercie particulièrement les membres de notre sous-comité Ian Landon-Jones, Norihisa Matsumoto, et Don Babbit qui ont dirigé nos discussions pour la mise à jour de ce bulletin aux réunions du comité à Téhéran (2005), à Barcelone (2006), et St. Petersburg (2007).

MARTIN WIELAND,  
PRÉSIDENT,  
COMITÉ SUR LES ASPECTS SISMQUES DES PROJETS  
DE BARRAGES

---

## FOREWORD AND ACKNOWLEDGEMENTS

---

Large dams should be able to resist the effects of the strongest ground shaking to be expected at the dam site. However, major damage is accepted as long as there is no catastrophic release of water from the reservoir. Therefore, after a major earthquake – depending on the observed damage - it may be necessary to lower the reservoir or take any other safety measures for the population affected by the failure of a dam. The measures to be taken for different intensities of ground shaking and levels of earthquake damage should be specified in emergency action plans, which are today's state of practice for dams with large damage potential.

Accordingly, the inspection of dams following earthquakes is an important aspect in the integral safety concept of dams. As very few large dams built according to the modern design and safety concepts promoted by ICOLD have actually been subjected to very strong ground shaking or have been damaged in a major earthquake, there exists still very limited knowledge about the performance of dams during such events. As observed in other types of structures, it is well possible that new types of failure may be observed if one of these modern dams will be subjected to very strong ground shaking similar to that expected during the safety evaluation earthquake. The checklists given in this Bulletin will allow (i) a systematic recording of the observed earthquake damage, and (ii) a quick assessment of the safety of the dams and the assessment of the measures to be taken.

The bulletin was first published in 1988. Since then a few earthquakes have occurred, which have also caused damage to dams. We expect that the people in charge of dam safety will have free access to this publication so it can be used effectively for the safety assessment of dams. This has not been the case in the past, therefore, it is also not known if the checklists have been used or not. That there is a demand for such checklists was demonstrated by the 2001 Bhuj earthquake in India, where some 240 dams (mainly small embankment dams) were damaged and needed repair and strengthening. Also during the magnitude 8 Wenchuan earthquake in Sichuan province in China of May 12, 2008, over 1500 dams and reservoirs were damaged to different extent. Moreover, after the magnitude 7.2 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, which occurred in Japan on June 14, 2008, 134 dams were inspected. With the present Bulletin it will be able to make a consistent assessment of the earthquake damage and the safety of dams following strong earthquakes.

We hope that this Bulletin will also be used as the basis for the development of inspection procedures by different organisations responsible for dams.

On behalf of the ICOLD Committee on Seismic Aspects of Dam Design, I acknowledge our debt to USSD for the work involved in the preparation of their document "Guidelines for Inspection of Dams after Earthquakes" which was adopted as the basis for our own Bulletin. USSD updated their Guidelines in 2003 and the changes made have been taken into account in the revision of this ICOLD Bulletin.

I also wish to record special thanks to our Sub-committee members Ian Landon-Jones, Norihisa Matsumoto, and Don Babbit, for steering our discussions on the update of this Bulletin at the Tehran (2005), Barcelona (2006), and St. Petersburg (2007) Committee Meetings.

MARTIN WIELAND,  
CHAIRMAN,  
COMMITTEE ON SEISMIC ASPECTS OF DAM DESIGN

---

## PRÉFACE

---

Le bulletin initial sur les recommandations pour l'inspection des barrages après séismes a été préparé par le comité des aspects sismiques des projets de barrages.

Plusieurs publications existantes avaient été prises en considération mais il avait été convenu que les recommandations préparées par le comité américain couvraient presque tout le sujet. Par conséquent il a été décidé que la publication du comité américain de 1984 servirait de base pour les recommandations à retenir pour le bulletin de la CIGB. Quelques réarrangements mineurs ont été faits pour plus refléter les conditions générales.

A la réunion de Séoul en 2004, il avait été décidé que les bulletins datant de plus de 10 ans seraient révisés et actualisés, si nécessaire. Il avait été admis que le bulletin 62 nécessitait une actualisation pour refléter les tendances actuelles et comme une suite du fait que les recommandations du Comité américain des barrages avaient été récemment mises à niveau en 2003.

La nouvelle version des « recommandations pour l'inspection des barrages après séismes » du Comité américain des barrages a été prise en compte pour la mise à jour du présent bulletin de la CIGB.

Quelques apports significatifs ont été faits à toutes les parties des recommandations, à savoir:

- Des changements ont été apportés à la 1<sup>ère</sup> partie pour insister sur la nécessité et l'intérêt des plans d'actions d'urgence comme partie de la préparation et de la planification des réponses aux séismes.
- Une mention est faite du bénéfice de l'évaluation des modes potentiels de rupture en identifiant les parties du barrage les plus vulnérables aux séismes.
- Une nouvelle 2<sup>ème</sup> partie et les annexes 2 et 3 ont été ajoutés pour décrire les récents développements dans l'utilisation des systèmes de détection et d'alarme en réponse aux séismes.
- L'annexe 4 donne de nouvelles informations du Japon sur les effets des séismes sur les percolations et les sous-pressions des barrages.

Il reste entendu que les recommandations doivent servir comme guide et que dans certains pays il peut s'avérer nécessaire d'introduire des spécifications plus détaillées pour faire face à des conditions particulières.

L'inspection d'un barrage immédiatement après un séisme est très essentielle quant à la décision à prendre dans la poursuite de l'exploitation de l'ouvrage. Une inspection complémentaire donnera des informations détaillées pour les études des réparations éventuelles et pour obtenir une vue plus complète du comportement des barrages sous l'effet des séismes. Les présentes recommandations sont à adapter à chaque cas afin de recueillir chaque fois les observations les plus significatives.

Par ailleurs nous espérons que l'application de ces recommandations et la publication des résultats des inspections permettront aux projeteurs de disposer d'un important ensemble d'informations sur les comportements des barrages pendant les séismes. En effet les projeteurs ont mis au point des méthodes de calcul et d'essai des matériaux qui sont utilisés pour la prévision du comportement des matériaux et ouvrages sujets aux charges sismiques. Sur la base de ces prévisions, les études sont faites et le barrage réalisé. La vérification des méthodes de calcul et des techniques de construction est nécessaire afin que les ingénieurs et le grand public puissent se rendre compte de la fiabilité de ces méthodes et techniques. Cette vérification sera grandement améliorée par la publication de rapports complets et précis sur le comportement des barrages et structures annexes lors des séismes.

---

## PREFACE

---

The original 1988 Guidelines for Inspection of Dams following Earthquakes were prepared by the Committee on Seismic Aspects of Dam Design.

Several existing publications were taken into consideration at the time but it was found that the Guidelines prepared by USCOLD covered almost entirely the subject. It was therefore decided by the Committee to use the USCOLD 1984 publication as the basis of the Guidelines to be issued as an ICOLD Bulletin. Some minor re-arrangements were made in order to reflect more general conditions.

At the 2004 Seoul meeting it was decided that all existing Bulletins that were more than 10 years old should be reviewed and updated as necessary. It was agreed that Bulletin 62 required updating to reflect current trends and as a result of the fact that the USCOLD Guidelines had been recently updated in 2003.

The revised USCOLD "Guidelines for Inspection of Dams after Earthquakes (2003)" were taken into consideration in the update of this ICOLD Bulletin.

Some significant additions have also been made to all parts of the guideline, i.e.:

- Changes have been made to Part 1 further strengthening the need and benefit of Emergency Action Plans as part of earthquake preparedness and planning.
- Mention is now made of the benefit of an assessment of potential failure modes in identifying those areas and features of a dam that could be more susceptible to earthquake damage.
- A new Part 2 and Appendices 2 and 3 have been added describing recent developments in the use of earthquake detection, alarm and response systems in responding to earthquake events.
- Appendix 4 provides new information from Japan on the likely effects of earthquakes on dam leakage and uplift pressures.

It is understood that the Guidelines should serve as a general guide to procedures and that some countries might consider it necessary to introduce further specifications in order to suit more specific requirements.

Inspection immediately after an earthquake is most crucial to the decision regarding continued operation of the structure. A follow-up inspection will provide more detailed information for the design of any repairs and for an insight into structural performance under seismic loading. Inspection requirements for a dam can be made more meaningful by tailoring them for a specific dam using these guidelines.

Additionally it is hoped that the application of these guidelines and publication of the inspection findings will provide dam designers with a wealth of information on dam performance during earthquakes. Dam designers have developed analytical and materials testing techniques which are used to estimate the behaviour of materials and structures subject to seismic loadings. On the basis of these estimates, a design is prepared and the dam constructed. Verification of the adequacy of design and construction methods and the establishment of a high level of confidence in these methods within both the profession and the general public is necessary. Such verification will be greatly enhanced through complete and meaningful reporting on the behaviour of dams and appurtenant structures during earthquakes.

---

## INTRODUCTION

---

En général les barrages ont un bon comportement vis-à-vis des secousses sismiques, même si certains ont subi des dommages importants ; Seed (1979), CIGB (1986), USCOLD (1992), NSWDC (1993), Hinks & Gosschalk (1993) and Wieland (2003). Les dommages sont essentiellement dus à la liquéfaction des remblais ou des fondations des barrages en terre et concernent également les ouvrages annexes. Quelques barrages en béton ont aussi subi des fissures importantes. Il y a très peu de cas où le séisme a créé une brèche avec déversement de l'eau du réservoir. Comme il ressort de la CIGB (1983), moins de 1% des ruptures de barrages sont dues aux séismes. Cela peut être lié au fait que, dans plusieurs cas, les niveaux des réservoirs étaient bas au moment des séismes.

En dépit de ce qui est dit plus haut, les séismes surviennent sans avertissement et peuvent entraîner des ruptures de barrages, immédiatement ou suite aux effets secondaires (secousses secondaires, renard à travers de nouvelles fissures).

Dans les barrages en terre (y compris les canaux en terre) le séisme peut causer de grandes déformations, des tassements et/ou des fissures. La plupart des fissures sont longitudinale, en crête du barrage, mais des fissures transversales ont aussi été observées principalement à côté des appuis.

Dans les barrages en béton, l'impact majeur est la fissuration. À titre d'exemple, on peut citer les fissures horizontales ou sub-horizontales apparues le long des joints de construction, à des niveaux élevés, au barrage-poids de Koyna en Inde et, aux barrages à contreforts de Sefid Rud en Iran et Hsifengkiang en Chine.

Il est par conséquent important que les mesures soient prises pour rapidement inspecter le barrage après les séismes.

En cas de dommage, des mesures peuvent être nécessaires pour éviter l'affaiblissement ultérieur de la structure. En conséquence tous les exploitants des barrages doivent être instruits des procédures à suivre si un séisme susceptible de causer des dommages peut intervenir.

La procédure d'inspection comporte deux phases :

- une inspection immédiate par l'exploitant du barrage et,
- une inspection supplémentaire par des ingénieurs expérimentés.

Les différents aspects des inspections sont présentés dans les chapitres suivants ; les listes-types des parties des ouvrages à visiter pouvant servir à l'élaboration des instructions, sont données en annexe.

---

## INTRODUCTION

---

Dams in general have a good performance record in regards to earthquake shaking, with few dams having suffered major damage; Seed (1979), ICOLD (1986), USCOLD (1992), NSWDC (1993), Hinks & Gosschalk (1993) and Wieland (2003). Where damage has occurred it has been mainly due to liquefaction in embankment dams or their foundations, or damage to appurtenant structures. A few concrete dams have experienced significant cracking. There are very few cases where the degree of damage has led to a dam breach and release of the reservoir. As discussed in ICOLD (1983) less than 1% of dam failures are due to earthquakes. This may have been a fortunate outcome in several of these cases due to low reservoir levels at the time.

Despite the above, earthquakes typically occur with no warning and have the potential to cause dam failures either immediately or due to secondary effects following the earthquake (e.g. aftershocks, piping through new cracks).

In embankment dams (including canal embankments), earthquake impacts include large deformations, settlement and/or cracking. Most cracking is longitudinal, normally found on the dam crest, but traverse cracking has occurred mainly near the abutments.

In concrete dams the major impact is cracking. For example, horizontal or near horizontal cracking has occurred along construction joints at high elevations such as at Koyna gravity dam in India, Sefid Rud buttress dam in Iran and Hsinfengkiang buttress dam in China.

It is therefore important that timely action is taken to inspect dams following significant earthquake events.

In the event of damage, immediate action may be necessary to prevent further weakening of the structure. Accordingly, all dam operators should be carefully instructed in the procedures to be followed if an earthquake should occur that produces motions of intensity sufficient to cause damage.

There are two phases to such an inspection procedure:

- an immediate inspection by the dam operator, and
- follow-up inspection(s) by dam engineering professionals.

Aspects of the inspections are discussed later in the Bulletin, and inspection checklists are given in Appendix 6 to aid in preparing instructions.

---

## 1. PRÉPARATION ET PLANIFICATION DE LA RÉPONSE AUX SÉISMES

---

Les inspections après séismes sont d'autant plus significatives qu'elles sont préparées et assimilées, qu'elles comprennent un plan d'actions d'urgence et qu'elles sont élaborées pour chaque barrage. Les procédures générales décrites ici peuvent être utilisées comme guide par des personnes compétentes en études et exploitations des barrages pour l'élaboration des procédures d'inspection pour un barrage donné. Les procédures doivent lister toutes les parties des ouvrages à inspecter dans un ordre efficace. Le schéma de communication avec les services concernés par les inspections et les dommages doit faire partie du plan d'urgence.

Les plans d'urgence doivent, au moins, être élaborés pour tous les barrages ayant un fort potentiel de dommages importants à l'aval, particulièrement « les pertes en vies humaines ». Ces plans doivent comprendre :

- Les informations avisent comment rapidement un barrage à besoin d'être inspecté.
- Les informations permettant aux exploitants ou aux personnels de secours de savoir si, après le séisme, il y a des problèmes, quelle est leur ampleur et comment rapidement ils peuvent se développer.
- Les procédures et les mesures proposées pour faire face aux conditions réelles ou supposées d'urgence y compris la communication avec les services de secours.

Une évaluation des modes de défaillance possibles est un moyen utile pour identifier et prioriser les zones ou parties du barrage susceptibles d'être endommagées par un séisme. Les résultats d'une analyse approfondie des modes de défaillance potentiels peuvent être appliqués en :

- Identifiant les parties clés qui peuvent être contrôlées par une instrumentation appropriée. Les données d'instrumentation qui ont été collectées au cours d'une opération normale du barrage fournissent des bases de comparaison pour les données collectées après le séisme.
- Identifiant les déficiences potentielles dues au séisme qui doivent être réparées en priorité.
- Identifiant les parties du barrage susceptibles d'être endommagées par un séisme ou qui vont donner des indications de changement de comportement ou de performance.
- Identifiant et documentant les plans d'urgence pour faire face à de tels événements.

La mise en œuvre d'un plan d'urgence après un séisme comprend d'habitude l'évaluation de l'état du barrage. En élaborant le plan d'urgence, l'exploitant du barrage doit prendre en compte :

- La situation, la disponibilité et la formation du personnel susceptible d'être le premier à intervenir en cas de séisme.
- L'accès au site et les moyens de communication ainsi que leur éventuelle rupture due au séisme.
- Les informations éventuelles disponibles sur les séismes, telles que la magnitude, la situation et l'intensité au site du barrage.
- Les prévisions de performance sismique du barrage.
- Les procédures d'inspection propres au barrage qui listent toutes les parties des ouvrages à inspecter dans un ordre efficace. Les résultats des analyses des modes de rupture potentielle sont utiles à cette activité.



---

## 1. EARTHQUAKE PREPAREDNESS & PLANNING

---

Inspections following earthquakes are most meaningful if the procedures are prepared and customized and included in a specific Emergency Action Plan (EAP) for each individual dam. The general procedures described herein may be used as guidelines by professional persons conversant with the design and operation of the dam in the preparation of a set of inspection procedures for a specific dam. The procedures should list all of the features to be inspected, in an order believed to be the most important and efficient. Communication links to designated offices regarding the inspection and findings should be a part of the plan.

Emergency Action Plans (EAPs) should as a minimum be developed for all dams that have the potential to cause major consequences downstream particularly 'loss of life'. Such plans should include:

- Information to advise how quickly a dam may need to be inspected.
- Information that will assist dam operators and emergency responders in determining after an earthquake whether there are any problems, how serious those problems may be or how quickly they may develop.
- Procedures and suggested actions for dealing with the potential or actual post-earthquake emergency conditions including communication to emergency agencies.

An assessment of potential failure modes is a useful way of identifying and prioritizing those areas and features of the dam that could be susceptible to earthquake-induced damage. The results of a thorough analysis of potential failure modes can be applied in:

- Identifying key features of the dam that should be monitored with appropriate instrumentation. Instrumentation data that are collected during normal operation of the dam provide a baseline against which post-earthquake data can be compared.
- Identifying potential seismic deficiencies that should be remediated on a priority basis.
- Identifying features of the dam that could be susceptible to seismic damage or which might provide indication of changed conditions or performance.
- Identifying and documenting contingency plans to cater for the occurrence of such events.

Deployment of an EAP after an earthquake will usually include inspections to assess the condition of the dam. In developing the EAP the dam operator should consider:

- The locations, availability and training of staff who are likely to be the first responders after the earthquake.
- Site access and communication links and the potential for their disruption due to earthquake damage.
- The likelihood of relevant seismic information being available, such as earthquake magnitude, location and intensity of shaking at the dam site.
- The predicted seismic performance of the dam.
- Specific inspection procedures for the dam, listing all of the features to be inspected, in an order believed to be the most important and efficient. The results of a potential failure modes analysis will be valuable in this activity.

Si un séisme de forte intensité survient, dans certains cas, les exploitants du barrage peuvent ne pas avoir la possibilité d'accéder au barrage par les voies normales. Cela peut être dû au fait que les routes d'accès et les lignes de chemin de fer soient endommagées suite aux effets du séisme tels que les effondrements, les glissements de terrain et les chutes de roches. Si cela est possible pour un barrage particulier, la situation doit être évaluée et les mesures appropriées prises pour y faire face. L'accès par hélicoptère est l'une de ces mesures. Toutefois, dans certains pays, seule l'armée a accès aux hélicoptères. Il peut arriver aussi que plusieurs hélicoptères soient loués par les équipes de reportage etc. et les services de secours peuvent ne pas en disposer; ou encore pendant certaines saisons, les hélicoptères peuvent servir à d'autres activités, quelquefois pour de longues périodes, loin de leur base. En plus, la neige abondante et les orages peuvent empêcher l'utilisation des hélicoptères. En conséquence, une bonne préparation est nécessaire pour pallier ces difficultés.

Si l'accès est empêché pendant une certaine période de temps quelque temps, plusieurs récentes méthodes sophistiquées telles que le scanning aérien au laser, Google Earth sont maintenant disponibles pour être utilisées pour entreprendre une évaluation préliminaire afin détecter certains dégâts significatifs ; cependant il peut se passer un certain temps avant que l'information ne soit disponible.

Le téléphone et les autres systèmes de communication sont appelés à subir des dommages ou à être interrompus suite aux séismes. Il est par conséquent préférable que la plupart des systèmes généralement utilisés en cas de désastre soient disponibles sur le site du barrage, exemple : téléphone satellite.

Les coupures d'électricité sont souvent provoquées par les séismes; si bien qu'il est indispensable de disposer de groupe secours capable d'alimenter les équipements de sécurité du barrage.

Il est très important que les exploitants du barrage aient une formation pertinente et l'expérience nécessaire pour être capable de faire une bonne évaluation et déterminer l'urgence de la situation durant la première inspection qui est critique.

Les plans d'actions d'urgence doivent être régulièrement révisés, testés et éprouvés de telle sorte que les parties impliquées se familiarisent avec le barrage et soient entraînées aux réponses à apporter ; les plans doivent demeurer pertinents et appropriés aux conditions présentes.

Il est aussi très important que les documents de référence tels que les plans, les dossiers d'étude et de construction et toutes autres données du barrage soient disponibles sur le site du barrage pour une consultation immédiate en cas d'urgence ou d'incident au barrage.

If a severe earthquake occurs in some cases dam operators may not be able to get to dam sites by normal means. This may be due to access roads or railway lines being damaged or disrupted due to the earthquake impacts, such as subsidence, landslides or rockfalls. If this is considered possible to occur for a particular dam, then the situation should be properly assessed and appropriate resources be put in place to satisfactorily address the issue. Helicopter access to the site is one appropriate backup measure. However, in some countries, only the military has access to helicopters. Also many helicopters may rapidly get hired by television news crews etc. and there may not be any left for emergency responders; or in certain seasons the rental helicopters may be committed for other purposes, sometimes on long term assignments far from base. In addition severe snow or rain storms may prevent access to helicopters. Therefore preplanning is required to avoid such problems.

If access is prevented for some period of time, more recent sophisticated techniques may now be available to be used to undertake an initial assessment to detect any significant damage such as: aerial laser scanning, Google Earth (internet) etc. although there may be delays in this information becoming available.

Telephone and other communication systems are prone to suffer damage and/or interruption following earthquake events. It is therefore preferable that more reliable systems that are customised for disaster emergency situations be established at the dam site, e.g. satellite phones.

Power failure often happens due to an earthquake, so standby power is indispensable in being able to operate equipment related to the safety of the dam.

It is very important that dam operators have undergone relevant training and have the necessary experience to be able to properly assess a dam and determine the potential for an emergency situation at a dam during the critical first inspection.

Emergency Action Plans should be regularly reviewed, tested and exercised such that all involved parties become familiar with the dam and trained in the responses that may be required and so that the plan remains relevant and appropriate for current conditions.

It is also very important that relevant reference materials such as drawings, design and construction documents and other data on all aspects of the dam are readily available at the dam site for immediate referral in the event of an emergency or incident at the dam.

---

## 2. DÉTECTION DES SÉISMES ET ALARMES

---

Une réponse d'urgence urgente à un séisme devrait se composer doit comprendre des trois étapes séparées ou processus à savoir :

- La collecte Recueil des données sur le séisme.
- Le traitement des données et l'utilisation des avertisseurs convenables ou des alarmes.
- La réponse aux alarmes (exemple: inspection des barrages).

L'omission de l'une ces étapes peut réduire l'efficacité de la réponse. Les exploitants des barrages ou les responsables de secours ont les moyens qui leur permettent de mettre efficacement en œuvre les plans d'urgence.

Cette section du bulletin donne les informations sur les deux premières étapes.

### 2.1. COLLECTE DES DONNÉES SUR LE SÉISME

L'installation de sismographe et de d'accéléromètre de mesure de fortes secousses autour du barrage est devenue courant actuellement. Ces équipements sont installés et exploités par les propriétaires des barrages ou communément des agences nationales. Les données de secousses sismiques collectées à chaque site du réseau peuvent être transmises à un centre de traitement par divers moyens, y compris:

- Transmission en continue des données par satellite (VSAT) ou téléphone fixe.
- Interrogation ou télémesure en continu par internet.
- Télémesure des événements induits par téléphone mobile (cellulaire ou satellitaire) ou par radio.

Le système de collecte de données est d'autant plus fiable qu'il comporte des redondances internes. Le réseau de télémesure devrait utiliser plusieurs modes de communication; toutefois les systèmes de communication par satellite sont à l'abri de dommages dus aux séismes pour autant qu'ils soient équipés de systèmes de secours en énergie fiable.

Les systèmes de secours électriques tels que les batteries et les panneaux solaires devraient être disponibles s'il y a des risques d'interruption de courant en cas de séisme. La provision du réseau en quelques instruments supplémentaires peut s'avérer utile.

Des dommages aux équipements de mesure des séismes peuvent être et ont été causés par les séismes. En conséquence, les installations devraient pouvoir résister aux plus grandes secousses prises en compte lors des études. Les enregistreurs devraient avoir une capacité suffisante et les données devraient pouvoir être récupérées facilement, autrement l'enregistrement des secousses secondaires pourrait se faire sur les données de la secousse principale.

L'étape suivante traite de l'interprétation des données. Cela peut se faire manuellement mais avec la technologie moderne, les systèmes de logiciels « intelligents » peuvent interpréter automatiquement les secousses enregistrées sur plusieurs sites et automatiquement estimer les intensités sur chaque site et les zones environnantes. Cette interprétation peut produire des résultats utiles comme des cartographies (exemple cartes des secousses), des rapports et des recommandations.

---

## 2. EARTHQUAKE DETECTION AND ALARMS

---

An emergency response to an earthquake should consist of three separate steps or processes, namely:

- Collection of seismic data.
- Processing of the data and issuing suitable warnings or alarms.
- Response to warnings (e.g., dam inspections).

The lack of any of the above three processes has the potential to reduce the effectiveness of the overall response. Dam operators or emergency response staff benefit from prompt intelligence that allow them to deploy their Emergency Action Plans (EAPs) effectively.

This section of the Bulletin provides information on the first two processes.

### 2.1. SEISMIC DATA COLLECTION

The establishment of seismometer and strong motion accelerometer networks around dams has become more common in recent times. These may be established and operated by individual dam owners but more commonly by national agencies. Ground motion data collected at individual sites within the network can be transmitted to a central location via various means, including:

- Continuous transmission via satellite (VSAT) or landline.
- Dial-up or continuous real time internet telemetry.
- Event-triggered telemetry via mobile (cell or satellite) phones or radio links.

Data collection systems are more reliable if they have some form of redundancy built into them. The telemetry links should use different modes of communication; however, satellite communications should generally be immune to disturbance from earthquake events provided they are equipped with reliable uninterruptible power supplies.

Back-up power supplies such as batteries and solar panels should be provided otherwise there is a risk that power may not be available when an earthquake occurs. The provision of some redundant instruments in a network can also be considered.

Damage to seismic instruments can and has occurred as a result of an earthquake. Therefore instrument installations should be able to withstand the largest ground motion expected to be experienced. Instrument recorders should have sufficient memory capacity and data should be downloaded promptly otherwise the recording of aftershocks may overwrite the major earthquake data.

The next step involves the interpretation of the data. This can be done by manual processes but with modern technology "intelligent" software systems can automatically interpret the recorded ground motion received from various sites and automatically estimate the intensities felt at the specific dam sites and in the surrounding area. This interpretation can produce useful outputs consisting of plots (e.g. shake maps), reports and recommendations.

## 2.2. ALERTES AUX SEISMES ET RECOMMANDATIONS

L'étape suivante vise à donner aux exploitants des barrages le plus d'informations facilement utilisables et facile à comprendre pour permettre la coordination des inspections et des autres secours d'urgence.

Un séisme important pourrait avoir des impacts sur plusieurs barrages sous la responsabilité d'un même exploitant. Par exemple, suite au séisme de Bhuj le 26 janvier 2001 en Inde, 240 barrages (essentiellement des petits barrages en terre) ont été endommagés et nécessitaient réparations et renforcements. Avec la possibilité de ressources insuffisantes pour conduire les inspections immédiates, et la pratique actuelle de certains pays ou agences de fonctionnement non continu, il est fortement justifié de produire des conseils et alertes sur des bases prioritaires.

Le principal conseil peut se trouver dans les plans d'urgence avec les délais de réalisation des inspections initiales mais certaines circonstances, sur certains barrages, pourraient empêcher le respect des délais. Il peut ne pas être possible d'avoir des routes pour accéder à des barrages éloignés pendant plusieurs jours ou semaines à cause de la rupture du réseau de transport ou pour d'autres raisons citées en Section 1. Il peut être possible d'installer des sensomètres ou des caméras télécommandés à ces barrages (avec le système d'alimentation en énergie appropriée) pour aider à détecter les problèmes.

Ces conseils peuvent être donnés de plusieurs façons. Des exemples de pratiques courantes dans plusieurs pays sont donnés en annexe 2. Toutefois dans plusieurs cas ces systèmes ne sont pas en place ou que les exploitants ou les secouristes ne perçoivent pas rapidement les informations. Il est donc mieux d'avoir un plan simple, au moins comme un secours, qui n'est pas lié à une information spécifique à acquérir avant l'inspection. Par exemple, les exploitants devraient être formés de telle sorte que, s'ils ressentent un séisme ou si un séisme est signalé dans les environs du barrage, mais sans autre information sur la magnitude et le niveau des secousses etc., ils entreprennent une inspection immédiate sans attendre d'autres informations ou instructions.

## 2.2. EARTHQUAKE WARNINGS AND RECOMMENDATIONS

The next process is to provide as much useful and easy to understand information to dam operators to allow inspections and other emergency responses to be coordinated.

A significant earthquake could impact on multiple dams under the jurisdiction of the dam owner. For example following the January 26, 2001 Bhuj earthquake in Gujarat, India some 240 dams (mainly small embankment dams) needed repair and rehabilitation. With the possibility of limited resources to implement immediate dam inspections and the current trend in some countries or agencies of dams not being manned on a 24-hour basis, there is strong justification for advice or warnings being given on a priority basis.

General advice can be provided in the EAP on the times within which initial inspections should be carried out but circumstances in some cases at specific dams may prevent such times to be achieved. It may not be possible to get road access to some remote dams for several days or weeks due to disruption of transportation links, or for other reasons as noted in Section 1. It may be possible to install sensors or remote cameras at such dams (with appropriate reliable power supplies) to assist in detecting problems at dams.

Such advice can be provided in many ways. Examples of current practices in several countries are provided in Appendix 2. However, in many cases such systems are not in place or it may be very difficult for operators and responders to get information in a rapid manner. It is best to have a simple plan, at least as a backup, that does not rely on specific information being provided before an inspection is carried out. For example, dam operators should be instructed and trained such that in the event that they feel an earthquake or hear news reports of an earthquake in the vicinity of a dam, but have received no more specific about the magnitude or shaking levels etc., they are to carry out an immediate dam inspection without waiting to receive further information or instructions.

---

### 3. INSPECTION IMMÉDIATE APRÈS LE SÉISME

---

L'efficacité des actions d'urgence dépend de la prompté détection et évaluation de tout comportement inhabituel. Il est par conséquent important que les inspections soient faites par du personnel qualifié et expérimenté. En plus, on n'insistera jamais assez sur le besoin de préparation des interventions en cas d'urgence.

Lorsque plusieurs barrages peuvent être endommagés en cas de séisme, l'ordre selon lequel les inspections doivent être menées doit prendre en compte les facteurs suivants : le niveau maximum de la secousse ou l'intensité au site du barrage, la sensibilité des barrages aux secousses sismiques et les conséquences de leur rupture.

Si un système de réponse, tel que décrit dans la deuxième partie, est disponible, on suggère que l'exploitant du barrage soit instruit à entreprendre l'inspection immédiatement suivant le séisme selon les recommandations suivantes. Si aucun exploitant n'est en poste au barrage, les représentants de l'organisme responsable du barrage doivent entreprendre l'inspection suivant les mêmes recommandations.

#### 3.1. QUAND LE RÉSEAU DE COMMUNICATION EST FONCTIONNEL

En cas de séisme, ressenti ou signalé près d'un barrage répondant aux conditions ci-dessous -magnitude Richter, distance- la procédure suivante est à suivre :

Magnitude	Distance (km)
>4.0	25
>5.0	50
>6.0	80
>7.0	125
>8.0	200

Note: Ces combinaisons ont été choisies de telle sorte qu'une intensité maximale soit ressentie au site du barrage. Une autre condition de déclenchement de l'inspection pourrait être, par exemple, un séisme de magnitude 4 au site du barrage.

- a) Conduire immédiatement une inspection visuelle complète du barrage et des ouvrages annexes.
- b) Si le barrage est endommagé à un point tel que les fuites augmentent ou de nouvelles fuites apparaissent, ou il y a d'autres signes qui indiquent une rupture imminente, appliquer immédiatement les procédures prévues dans le plan d'urgence en cas de rupture ou de rupture imminente.
- c) Si le débit entrant à l'amont de la retenue est réduit de façon anormale, inspecter immédiatement la rivière pour voir s'il n'y a pas une obstruction due à un glissement de terrain.
- d) En cas détériorations visibles mais qui n'ont pas, ou selon l'estimation de l'inspecteur, ne sont pas suffisamment sérieuses pour entraîner la rupture du barrage dans un court terme, conduire une inspection plus détaillée et faire les observations suivantes et ensuite contacter immédiatement :



---

### 3. IMMEDIATE INSPECTION FOLLOWING EARTHQUAKE

---

The effectiveness of emergency response actions depends on prompt detection and evaluation of any unusual condition. It is therefore important that suitably qualified and trained personnel undertake the inspections. In addition, the need for timely action in the event of an emergency cannot be over-emphasised.

Where several or a large number of dams could have experienced the impacts of an earthquake the priority upon which inspections should be undertaken should take account of the following factors: peak ground acceleration or level of intensity at the dam site, the susceptibility of the dams to earthquake shaking and the consequences of failure of the dams.

If a response system, as described in Part 2, is not available, then it is suggested that the dam operator be given instructions according to the following guidelines for inspection of the facility immediately following an earthquake. If no operator is posted at the dam site, representatives of the organization responsible for the dam should undertake the inspection, following the same guidelines.

#### 3.1. WHEN COMMUNICATION LINKS ARE IN PLACE

If an earthquake is observed at or near a dam, or one has been reported to have occurred, with a Richter magnitude greater than and within a radial distance as set out in the table below, follow these procedures:

Magnitude	Distance (km)
>4.0	25
>5.0	50
>6.0	80
>7.0	125
>8.0	200

Note these combinations have been chosen such that a significant intensity level is expected to have been experienced at the dam site. An alternative trigger for inspection could for example be an intensity of shaking of greater than MMI 4 experienced at a dam site.

- a) Immediately conduct a general overall visual inspection of the dam and major appurtenant structures.
- b) If the dam is damaged to the extent that there is increased or new flow passing downstream, or there are other signs indicating a potentially imminent failure, then immediately implement the specific failure or impending failure procedures as set out in the Emergency Action Plan for the dam.
- c) If abnormally reduced flow is present at the upstream end of the storage, immediately inspect the river course for possibility of upstream damming due to landslide. If such is the case, implement failure or impending failure procedures.
- d) If visible damage has occurred but has not, or in the best judgment of the inspector, has clearly not been serious enough to cause failure of the dam in the near term, conduct a more detailed inspection and make the following observations and contacts immediately:

1. Observation de la nature, la situation et l'importance du dommage et l'évolution de l'état des ouvrages. La description des dommages tels que les glissements de terrain, les zones humides, les tassements du sol, doit inclure leur situation, leur importance, la vitesse de tassement, et les effets sur les ouvrages annexes (ou fissures, décrochements ou faiblesse dans les structures en béton). Observation des autres éléments pertinents: résurgences, zones de percolation, niveaux d'eau à l'amont e à l'aval, conditions météorologiques. Évaluation du risque de rupture. Estimation de l'intensité du séisme à l'aide de l'Échelle modifiée de Mercalli décrite en annexe 1, ou toute autre échelle en usage dans le pays.
  2. Contact immédiat avec le bureau central de surveillance ou le siège si le personnel désigné n'est pas présent ou accessible. Si le personnel désigné ne peut pas être informé, contacter tout autre responsable. Pour les liaisons par téléphone ou par radio, la personne qui donne l'information doit s'assurer que son nom, le nom du barrage, la nature des dommages et la nature des réponses requises sont transmis sans erreur. En cas de dégâts, il est important que la personne qui reçoit l'information comprenne votre évaluation et les risques au barrage. Les responsables doivent décider rapidement des actions à entreprendre dans le cadre des plans d'urgence.
  3. Faire une deuxième inspection du barrage et maintenir les communications avec les responsables. Prendre des photos ou filmer ou encore prendre des notes. L'utilisation d'appareils numériques permet de transmettre immédiatement les photos à d'autres personnes.
  4. Être prêt à faire d'autres inspections à cause des secousses secondaires.
  5. S'il n'y a pas du tout de risque de rupture du barrage, aller à l'étape (e).
- e) Inspection détaillée des endroits suivants en utilisant les listes types spécifiques à chaque barrage (cette liste devrait être élaborée sur l'analyse des modes de rupture s'il y en a déjà eu).
1. Crête et parements amont et aval du barrage : fissures, tassements, déplacements, ou fuites.
  2. Appuis : déplacements, fissures, résurgences, mouvement ou poursuite de mouvement de blocs rocheux.
  3. Drains et zones de percolation : augmentation ou arrêt du débit.
  4. Évacuateurs de crues et vannes : modification d'alignement et détérioration des structures.
  5. Ouvrages de vidange (chambres de vannes, galeries, vannes) : fissures ou éclatement de béton, déplacement, modification d'alignement des vannes.
  6. Usines hydroélectriques : fissures, éclats de béton, déclenchement des groupes, détérioration des vannes, et rupture des conduites et galeries.
  7. Alimentation en énergie électrique, groupe secours et équipement de secours.
  8. Abords à l'amont et à l'aval du barrage: glissement de terrain, résurgence, sables bouillants, chutes de blocs de rocher.
  9. Ouvrages de tête des canaux : fissures, éclats de béton, ou détérioration des structures.

1. Observe the nature, location, and extent of damage and the rate of any changing conditions. The description of damage such as slides, sloughs, and previously undetected subsidences should include location, extent, rate of subsidence, and effects on adjoining structures (or cracking, offsets or leaks in concrete structures). Observations of other facts believed to be pertinent, such as springs or seeps, reservoir and tailwater elevations, and prevailing weather conditions should also be made. Evaluate potential for failure. Make an estimate of the intensity of the earthquake using the Modified Mercalli Intensity Scale shown in Appendix 1, or such Intensity Scale which is used in the country.
  2. Report all information to the (Supervisory) Office, or, if key personnel are not available, report directly to the Headquarters Office. If communications cannot be established with these personnel, report directly to any responsible agency. When making a phone or radio report, be absolutely sure to state the dam name, your name, extent of damage and nature of any response or action required. When damage exists, it is extremely important that the one receiving your report understands your evaluation and description of the potential hazard at the dam. A decision on further actions required must be promptly made in accordance with the EAP.
  3. Reinspect the site of the damage and maintain communications with the key personnel previously receiving the report. Take photographs or video and record or make notes on observations. Using a digital camera will allow photographs to be immediately sent to others.
  4. Be prepared to make additional inspections at any time because of possible aftershocks.
  5. If there is definitely no impending dam failure, continue to step (e).
- e) Thoroughly inspect the following for damage such as using a customized checklist for the specific dam: (this checklist would ideally have been developed based on a failure modes analysis if one had been previously performed).
1. The crest and both faces of the dam for cracks, settlement, displacement, or seepage.
  2. Abutments for possible displacement, cracks, new springs, or large rocks that may have been or are being displaced.
  3. Drains and seeps for increased flow or stoppage of flow.
  4. Spillway structures and gates for misalignment or structural distress.
  5. Outlet works control house, tunnel, and gate chamber for cracks or spalling of concrete, displacement, or valve or gate misalignment.
  6. Powerplant facilities for cracks, spalling, tripped-out generators, gate or valve distress, and for any indication of water passage failure.
  7. Power supply and standby power unit, and other emergency operating equipment.
  8. Visible reservoir and downstream areas for landslides, new springs and sandboils, and rockfalls around the reservoir and in downstream areas.
  9. Canal headworks for cracks, spalling, or structural distress.

10. Autres ouvrages annexes pour signes de détérioration.

11. Tunnels et conduites : limon, sable, gravier, fragments de rocher ou de béton transportés par les eaux.

- f) Entreprendre toutes les actions prévues dans le plan d'urgence du barrage et faire un rapport aux mêmes responsables déjà mis au courant pendant le séisme.
- g) En cas d'absence de détériorations, envoyer un message « Absence de dégâts » au Bureau Central de Surveillance.
- h) Poursuivre les inspections et les mesures pendant au moins 48 heures selon les directives du Bureau Central de Surveillance pour déceler les incidents différés ou cachés éventuels.
- i) Il se peut que certaines détériorations ne soient pas visibles lors de l'inspection faite immédiatement après le séisme. Par exemple les tassements des ouvrages, la réactivation d'anciens glissements, l'apparition de nouveaux glissements ou de nouvelles résurgences peuvent se manifester plus tard, après l'inspection initiale.
- j) Les données concernant l'état des ouvrages et leur comportement peuvent être fournies par les lectures des appareils d'auscultation (pendules, inclinomètres, extensomètres, bornes d'observation, piézomètres, sismographes installés dans le barrage ou sa fondation).

Les données doivent être collectées de tous les instruments tels que prévus par les procédures et le programme de lectures. Un programme de lecture avec des fréquences élevées doit être observé pendant 48 heures après le séisme.

Le Bureau Central de Surveillance doit se mettre en rapport avec les services sismologiques compétents pour obtenir toute l'information disponible et déterminer la probabilité de secousses secondaires. Cette information guidera les activités ultérieures sur le barrage.

Un rapport des inspections faites après le séisme sera fait en particulier s'il y a eu des dégâts ou si des événements anormaux ont été constatés (augmentation des fuites ou des sous pressions).

L'accès par bateau peut être utile pour l'inspection des parements amont immergés. La prise de vue en avion est recommandée après un séisme pour relever les détails des dommages.

Il est aussi important de connaître l'existence de fissures des barrages en béton et les fissures et/ou tassements des barrages en terre avant le séisme afin d'estimer les changements qu'il entraîne.

10. Other appurtenant structures for signs of distress.
11. Tunnels and conduits, for silt, sand, gravel, rock, or concrete fragments being carried in the discharge stream.
  - f) Undertake whatever actions or notifications that are required under any specific EAP for the dam, but specifically report findings to the (Supervisory) Office or to other personnel in the Headquarters Office to whom you previously reported after the earthquake.
  - g) If no apparent damage has occurred to the dam, embankment, or appurtenant structures, a “No Damage” report must be made to the (Supervisory) Office.
  - h) Continue to inspect and monitor the facilities for at least 48 hours or as instructed by the (Supervisory) Office because initially unobservable or delayed damage may subsequently become apparent or occur.
  - i) The full nature and extent of damage or even the presence of damage may not be readily apparent during an inspection immediately following an earthquake. It is possible that settlement of structures, reactivation of old slides, or development of new slides or springs may not occur during ground shaking but could appear after the initial inspection. A secondary inspection 2 weeks to a month after the initial inspection should be made.
  - j) Information on the condition of the structures and their performance with respect to the earthquake may be obtained from readings on the instrumentation installed in the dam and foundation including pendulums, inclinometers, extensometers, survey monuments, piezometers, and seismographs installed in the dam and foundation.

Data should be collected from all instrumentation as described in the instructions and schedule for reading instruments. A schedule of very frequent readings should be followed for at least 48 hours after the earthquake.

It is important for the (Supervisory) Office to contact the appropriate seismological organization to obtain all available information and to determine whether aftershocks may be likely. Such information will guide further activities at the dam.

A report on the inspections after an earthquake should be prepared particularly if damage has occurred or unusual events have been noticed (e.g. increased leakage or uplift pressure) in order to document specific details of what has occurred.

Access to a boat may be useful to enable inspections of upstream foreshores. Taking photos from an airplane after an event is recommended to record details of damage if it has occurred.

It is also important to have documented evidence of any pre-existing cracking of concrete dams and cracking and/or settlements of embankment dams to enable easy identification of any changes following an earthquake.

### 3.2. QUAND LE RÉSEAU DE COMMUNICATION N'EST PAS FONCTIONNEL

- a) En cas de perte totale des moyens de communications et, de secousse d'intensité élevée et/ou de risque de rupture du barrage, suivre la procédure type suivante :
1. Inspection rapide du barrage et de ses appuis pour observer les incidents : zones humides, glissements, affaissements, résurgences, zones de percolation, et autres signes de détérioration de la zone des appuis.
  2. Évaluer le risque de rupture, le mieux possible.
  3. Si la rupture est jugée imminente, avertir les populations à l'aval de l'ouvrage est essentiel. La responsabilité de l'avertissement aux populations varie suivant les pays : exploitants, administrations, etc. En conséquence, ces responsabilités doivent être clairement définies et normalement dans le plan d'urgence du barrage.
  4. Si la rupture est imminente, toutes les mesures doivent être prises pour abaisser le niveau d'eau du réservoir. Il faut être prudent lorsqu'il s'agit d'augmenter le débit passant par les ouvrages d'évacuation, en cas de cisaillement de la galerie, l'augmentation de débit peut provoquer un renard dans les barrages en terre. Il peut être nécessaire de couper le débit des vannes (si cela est possible) pour éviter les renards.
  5. Maintien du contact ou poursuite des tentatives pour établir le contact avec le Bureau Central de Surveillance.

### 3.2. WHEN COMMUNICATION LINKS ARE NOT AVAILABLE

- a) If all communications from the dam are lost and there has been significant shaking experienced and/or there is a potential danger for failure of the dam, use the following checklist as a guide:
1. Quickly inspect the dam and abutments for sloughs, slides, slumps, springs or seeps, and other signs of distress near dam abutments.
  2. Evaluate potential danger of failure, to the best of your ability.
  3. If failure is or is judged to be imminent, warning to downstream residents is essential. The responsibility for such warning varies between different countries, dam owners, states etc. Therefore the responsibilities should be clearly defined, normally within the specific EAP for the dam.
  4. If failure is imminent, all measures should be used to reduce storage in the reservoir. Caution should be used in increasing discharge through the outlet works because the conduit may be sheared and increased flow could cause erosion of the structure or piping of the dam embankment. It may be necessary to cut off the flow in the outlet works (if possible) to avoid piping or other severe damage.
  5. Continue to attempt to establish or maintain contact with any (Supervisory) Office.

---

## 4. INSPECTION SUPPLÉMENTAIRE

---

Si l'exploitant du barrage fait état de détériorations, il convient de faire intervenir, au plus tôt, des ingénieurs qualifiés pour procéder à l'évaluation technique de l'importance de celles-ci et du niveau de risque qui en résulte. Les membres de l'équipe d'inspection doivent avoir une bonne connaissance des différents modes de rupture d'un barrage et de ses ouvrages annexes ; ils doivent également avoir une bonne connaissance des principales caractéristiques du projet. La liste proposée des problèmes à examiner pendant cette phase de l'inspection figure en annexe ; les grandes lignes de l'inspection sont proposées ci-dessous :

### 4.1. MODES ET CAUSES POSSIBLES DE RUPTURE

Les membres de l'équipe d'inspection doivent connaître les différents modes de rupture d'un barrage et de ses ouvrages annexes. Ils auront étudié les ruptures survenues précédemment pour renforcer leurs connaissances dans le domaine des causes et modes de ruptures des barrages. L'étude des Publications sur les incidents survenus aux barrages et sur la sécurité des barrages est très conseillée (voir Bulletin n°46 publié par la CIGB).

Les faiblesses d'un barrage et ses fondations peuvent revêtir plusieurs formes. Les causes les plus fréquentes de rupture sont présentées ci-dessous, ainsi qu'un certain nombre d'exemples et de conditions défavorables. La liste des conditions défavorables est la suivante :



---

## **4. FOLLOWUP ENGINEERING INSPECTION**

---

In the event that the dam operator reports that damage has occurred or there is the potential for damage due to severe shaking, qualified engineering personnel should be dispatched as rapidly as possible to the dam to make a technical evaluation of the extent of damage and the degree of hazard it presents. The members of such an inspection team should be familiar with the possible modes and causes of failure of a dam and its associated structures, and should also be familiar with the main features of the project. Suggested checklists for use in this phase of the inspection are presented in Appendix 6, and guidance for the inspection is given in this Section.

### **4.1. POSSIBLE MODES AND CAUSES OF FAILURE**

The members of an inspection team must be aware of the modes of dam failures. Research and study of previous failures are required for the team members to reinforce their engineering understanding of how and why failures occur. Of particular value are the Publications on Dam Incidents and Dam Safety (ICOLD Bulletin 46).

Weaknesses in a dam or foundation may take many forms. Some of the more common causes of dam failures, and examples of adverse conditions are discussed in this Section. Adverse conditions that can lead to failure are categorized:

Catégorie de rupture	Causes
Appuis et instabilité en fondation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquéfaction</li> <li>• Glissements</li> <li>• Effondrements</li> <li>• Entraînement ou dissolution de matériaux dans l'eau</li> <li>• Tassements</li> <li>• Ouverture des joints ou rupture du rideau d'injection</li> <li>• Mouvement des failles près ou sous le barrage</li> <li>• Changement du niveau d'eau (par exemple à cause d'une fissure du rideau d'injection ou d'effondrement à l'amont)</li> </ul>
Évacuateurs de crues défectueux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstructions</li> <li>• Revêtements détériorés</li> <li>• Détérioration des vannes ou treuils</li> <li>• Déplacement des dalles</li> </ul>
Ouvrages de vidange défectueux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstructions</li> <li>• Détérioration des vannes ou treuils</li> <li>• Déplacement ou détérioration des revêtements</li> </ul>
Barrage en béton défectueux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drains obstrués ou sous-pressions importants</li> <li>• Répartition anormale des sous-pressions</li> <li>• Déplacements ou déformations différentiels</li> <li>• Percolations excessives</li> <li>• Surcharges excessives au pied aval (mises en évidence par des fissurations et écrasements du béton)</li> </ul>
Barrages en remblai défectueux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquéfaction et sols bouillants</li> <li>• Instabilité de talus</li> <li>• Percolations excessives</li> <li>• Entraînement ou dissolution de matériaux dans l'eau</li> <li>• Érosion</li> <li>• Tassements conduisant à une revanche insuffisante</li> <li>• Fissures et trous d'effondrements créés par l'activité sismique</li> <li>• Fissure longitudinale ou transversale</li> <li>• Fissures des dalles du parement amont en béton</li> <li>• Endommagement du revêtement étanche de la face amont</li> </ul>
Bords de retenue défectueux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instabilité de pente</li> <li>• Faiblesses inhérentes aux barrières naturelles</li> <li>• Fissures et trous d'effondrements créés par l'activité sismique</li> <li>• Obstruction de la rivière par un glissement de terrain</li> <li>• Glissement de terrain entraînant un assèchement ou une augmentation du niveau du réservoir</li> </ul>

Failure Category	Causes
Abutment and foundation instability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquefaction</li> <li>• Slides</li> <li>• Subsidence</li> <li>• Removal of solid and/or soluble materials by water</li> <li>• Settlement</li> <li>• Joint openings and/or grout curtain rupture</li> <li>• Movement on faults under or adjacent to dam</li> <li>• Change of water level (e.g. due to fracture of grout curtain or upstream subsidence)</li> </ul>
Defective spillways	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstructions</li> <li>• Broken linings</li> <li>• Damaged gates and hoists</li> <li>• Slab displacement</li> </ul>
Defective outlets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstructions</li> <li>• Damaged gates and hoists</li> <li>• Displaced or damaged linings</li> </ul>
Concrete dam defects	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blocked drainage or high uplift</li> <li>• Unanticipated uplift distribution</li> <li>• Differential displacements and deflections</li> <li>• Excessive seepage</li> <li>• Overstressing, as may be evidenced by cracking or crushing of the concrete</li> </ul>
Embankment dam defects	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquefaction, sand boils</li> <li>• Slope instability</li> <li>• Excessive seepage</li> <li>• Removal of solid and soluble materials</li> <li>• Soil erosion</li> <li>• Embankment settlement leading to inadequate freeboard</li> <li>• Cracks or sinkholes opened by seismic activity</li> <li>• Longitudinal or transverse cracking</li> <li>• Cracks in upstream concrete face slabs</li> <li>• Damage to waterproofing systems in upstream face</li> </ul>
Reservoir margin defects	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slope instability</li> <li>• Inherent weaknesses or natural barriers</li> <li>• Sinkholes opened by seismic shocks</li> <li>• Landslide blockage of upstream watercourses</li> <li>• Landslide causing seiche and/or increase in reservoir water level</li> </ul>

#### **4.1.1. Défauts des appuis et des fondations**

Ces défauts sont associés à la qualité des matériaux des fondations et des appuis ainsi que leur traitement. Les tassements différentiels, les glissements de terrains, les pressions excessives, les zones et plans de faiblesse, la maîtrise insuffisante des écoulements souterrains peuvent être cause de rupture de l'appui ou de la fondation.

Les appuis ou fondations qui ont de faibles résistances au cisaillement ou qui comportent des matériaux de résistance mécanique médiocre (schistes, bentonite, matériau de remplissage des failles) peuvent être le siège de glissements pouvant entraîner le glissement de la fondation ou de la digue. En plus, les zones de matériaux perméables en fondation où les mesures pour décharger les pressions n'ont pas été prises peuvent être le siège d'une montée de pression suivie de glissement.

Les percolations dans les appuis et les fondations peuvent entraîner les matériaux solides (renards) et lessiver les matériaux solubles. Il en résulte des vides qui s'agrandissent jusqu'à ce que le matériau au-dessus, privé de support, s'effondre, avec rupture partielle de l'appui ou de la fondation. L'eau peut détériorer certains matériaux tels que les schistes ; sa présence peut également réduire la résistance au cisaillement du massif rocheux ou du contact béton-rocher.

La réduction de la stabilité d'un appui, affaibli par les effets d'un séisme ou autres causes, peut avoir une grande influence sur la stabilité d'ensemble d'un barrage voûte.

Certaines faiblesses peuvent être détectées par l'examen visuel lors de la visite sur le site. Les fissures visibles peuvent traduire des mouvements de la fondation. L'érosion interne (renard) peut se manifester par la présence de sédiments dans les eaux de percolation (turbidité), en cas de lessivage des matériaux solubles, l'analyse chimique permettra d'étudier le phénomène.

#### **4.1.2. Évacuateurs de crues et ouvrages de vidange**

L'observation visuelle lors d'une visite peut permettre de déceler un grand nombre de conditions défavorables : obstructions, faiblesses mécaniques, drains défectueux, ... La rupture d'un conduit, d'une galerie, etc. ou une chute de roche peut perturber l'écoulement. Les manifestations en seraient une baisse du débit ou une turbulence anormale de l'écoulement. La perte de l'alimentation en énergie pour alimenter les organes de commande peut créer une situation susceptible de compromettre la sécurité du barrage.

Les évacuateurs de crues et ouvrages de vidange équipés de vannes ne peuvent remplir leurs fonctions que si les vannes fonctionnent normalement. La défaillance de ces ouvrages par suite d'incidents survenus aux vannes ou aux organes de commande peut mettre en danger la sécurité du barrage. Ces incidents peuvent être provoqués par un mouvement des structures qui supportent ces organes, et se traduiront par un coincement des vannes ou une obstruction par des débris. En cas de doute ou de risque d'incident, il est prudent de manœuvrer les vannes le plus tôt possible après le séisme pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

Des glissements des talus dominant l'entrée d'ouvrages d'évacuation peuvent obstruer l'entonnoir. Ils peuvent également détériorer les ouvrages de prise et leurs organes métalliques (vannes, treuils et moteurs d'entraînement).

La fissuration et le déplacement des structures peuvent être le signe d'un incident grave. Le séisme peut déplacer les dalles du radier d'un coursier ou d'un bassin de dissipation avec, pour conséquence, une modification de l'efficacité des drains et une montée de la sous-pression.

Les structures en crête d'un barrage en béton, telles que les chambres de vannes de secours ou de garde, doivent être inspectées parce qu'ils peuvent être soumis à une secousse amplifiée. Cette secousse peut généralement être 5 à 10 fois celle de la fondation et les structures en crête du barrage ne sont pas conçues pour y faire face.

#### **4.1.1. Abutment and Foundation Deficiencies**

These deficiencies are associated with the quality of the abutment and foundation materials or with their treatment. Differential settlements, slides, excessive water pressures, weak seams or zones, and inadequate control of seepage are all common potential failure mechanisms within an abutment or foundation.

Abutments and foundations which have a low shear strength or seams of weak material such as shales, bentonite, or fault gouge can result in sliding of the foundation and embankment. Also, seams of pervious material in the foundation, which have no provisions for pressure relief, can form excessive uplift pressures and cause sliding.

Seepage through abutments and foundations can cause piping of solid materials or the erosion of soluble materials by solutioning. This removal of material forms voids, which can increase until a portion of the remaining unsupported material collapses and failure of a section of the abutment or foundation occurs. Water can also cause a breakdown of some foundation materials such as shales, or reduce the shear strength of the foundation rock or the dam-rock contact.

The reduced stability of an abutment, weakened by the effects of an earthquake or other means, can have a significant effect on the overall stability of an arch dam.

Some of these weaknesses can be identified by visual examination of the foundation environs during a site inspection. Visible cracks in a dam can be indicative of foundation movement. Visual evidence of piping would be sediment in the seepage water (turbidity), whereas the washing of soluble material into solution would require chemical analyses to detect solutioning.

#### **4.1.2. Spillway and Outlet Works**

Many adverse conditions such as obstructions to the flow, structural weaknesses, or faulty underdrains can be identified by visual examination during a site inspection. Structural failure in a conduit, tunnel or other conveyance structure or a significant rockfall into a spillway for example could obstruct the flow in the system, which would be evidenced by a reduction or unusual turbulence in the flow. Loss of the power source to operate facilities may also present operational conditions which compromise the safety of the dam.

Spillways and outlet works controlled by gates and/or valves can only function as designed if the gates and valves can be operated as intended. If a spillway or outlet works cannot be operated due to faulty gates, valves, or operating equipment, the dam could be in danger of failure. Faulty operation of gates, valves, or operating equipment can result from settlement or shifting of the support structure, and could cause binding of gates or blockage by debris. If damage is suspected or likely, gates should be operated soon after the earthquake to verify operation.

Slides from the slopes above the inlet can block the approach channel. Slides could also damage the intake structure and associated metalwork such as gates, hoists, and motors.

Cracking and movement of concrete structures may indicate distress. Floor slabs in a chute and stilling basin may be displaced by seismic activity, and may change the drain capabilities and cause excessive uplift.

Concrete dam crest structures (such as gate house for emergency closure valves) should be inspected because they would be subjected to amplify shaking. This shaking can commonly be 5 to 10 times that of the foundation and dam crest structures are not normally designed for such.

### **4.1.3. Percolation**

Dans un barrage en béton, les percolations sont généralement localisées dans les joints de contraction, dans les joints de construction ou dans les reprises défectueuses. La fissuration peut également être le siège de fuites. Ainsi on prévoit des drains dans la masse du béton pour collecter les fuites et réduire les pressions qui risquent d'apparaître le long des surfaces des reprises.

Pour les barrages en remblai et les fondations, les percolations si elles ne sont pas parfaitement contrôlées, risquent d'entraîner les matériaux fins du barrage ou de sa fondation vers des sorties sans filtre, créant des vides pouvant conduire à des ruptures par effet de renard ; ces percolations peuvent créer des pressions interstitielles excessives avec pour conséquence l'affaiblissement du massif, accompagné parfois de résurgences, zones de boulanges ou de glissements de terrain.

De même, dans le cas d'un barrage en béton, les fuites à travers les appuis ou la fondation peuvent provoquer des renards ou des vides conduisant à des effets d'arc dans appuis et une concentration néfaste des contraintes dans le béton. Une telle situation dans les appuis ou la fondation d'un barrage en remblai avec formation de renards ou tunnels sous la digue, peut entraîner l'effondrement des matériaux avoisinants. Cela peut conduire à des fissures de tassement ou finalement à une brèche dans le remblai. Il est d'autant plus important de poursuivre les inspections que les dommages dus aux fuites ou au renard peuvent ne pas être visibles quelques jours ou semaines après le séisme.

L'augmentation des sous-pressions à la base du barrage, due aux écoulements dans les plans de discontinuité (diaclasses ou couches de matériaux perméables), peut traduire une détérioration du rideau d'injection et des drains de fondation ; Si les sous-pressions atteignent des valeurs élevées ou dépassent les valeurs maximales admises au projet, la stabilité de la digue peut se trouver compromise.

### **4.1.4. Matériaux défectueux ou médiocres**

Les sols saturés, de faible densité et cohésion, dans une digue en remblai, dans ses appuis ou fondations peuvent être le siège de pressions interstitielles et subir une perte de résistance au cisaillement sous l'action des cisaillements résultant d'un séisme.

Selon divers facteurs (propriétés des matériaux, conditions locales état des contraintes avant séisme, grandeur et durée des efforts appliqués par le séisme), la digue ou ses fondations peuvent souffrir d'instabilité, de tassements excessifs avec réduction de la revanche, de fissuration. Les digues construites par remblayage hydraulique sont particulièrement sensibles aux séismes à cause des risques de liquéfaction de ce genre d'ouvrage.

Les bétons de faible qualité (mauvaise qualité des agrégats, mauvaise préparation des reprises, détérioration due à l'âge) sont sensibles aux séismes.

### **4.1.5. Surcharges des barrages en béton**

Le dépassement des contraintes admissibles dans les barrages en béton provoque des détériorations et des fissurations qui peuvent être décelées à l'inspection visuelle. Les fissurations, les ouvertures des surfaces de reprise de bétonnage ou des joints de construction, les modifications du régime des fuites et les déplacements différentiels sont autant de signes de début de surcharge. Ces contraintes peuvent se manifester à la base du barrage (du fait de déplacements différentiels ou de grands mouvements de la fondation) ou dans le corps du barrage (où les contraintes sont élevées). Elles peuvent être la conséquence d'une charge appliquée anormalement (séismes, variations de température, pression d'injection lors des clavages, mouvements dans la fondation, sous-pressions excessives dans la fondation ou dans les reprises défectueuses).

#### **4.1.3. Seepage**

The main source of seepage within a concrete dam is through contraction joints or along unbonded construction joints or lift lines. Cracks in the mass concrete are also a potential source of seepage in the structure. Formed drains installed in the dam are designed to intercept the seepage and reduce the pressures which could develop along lift lines.

Uncontrolled seepage through an embankment dam or foundation can cause the movement of soil to unfiltered exits, creating voids which can lead to a “piping” failure, and result in excess pore pressures, which weakens the soil mass and may cause springs, boils, or slope failures.

Uncontrolled seepage through the abutment or foundation of a concrete dam can form “pipes” or voids, causing bridging of sections of the abutment and resulting in an undesirable concentration of stresses in the concrete. In the abutment or foundation of an earth dam, uncontrolled seepage also can form “pipes” or “tunnels” under the embankment, which can cause the collapse of surrounding materials. This can then lead to the formation of settlement cracks or ultimately to breaching of the embankment. Seepage and piping damage may not be evident for some days or weeks after the earthquake so continued inspection is important.

Increased uplift at the base of the dam from percolation or seepage of water along underlying foundation seams or joint systems may be an indication of reduced effectiveness of the foundation grouting and the drainage system. If the uplift values are extreme or exceed the design assumptions, dam instability may occur.

#### **4.1.4. Defective or Inferior Materials**

Low-density, saturated, cohesionless soils in an embankment or abutment or foundation can experience an increase in pore pressure and loss in shear strength when subjected to earthquake-induced shear stresses.

Depending on a variety of factors including material properties and in place conditions, pre-earthquake stress conditions, and magnitude and duration of seismic-induced stresses, the embankment or its foundation may exhibit instability, excessive vertical settlements, and loss in freeboard, or cracking. Embankment dams constructed by hydraulic fill techniques have been found to be particularly susceptible to earthquake-induced damage because of the potential for liquefaction under earthquake loading.

Weak concrete, due to poor aggregate, inadequate lift joint preparation, deterioration with age for example, is vulnerable to damage.

#### **4.1.5. Concrete Dam Overstressing**

Overstressing in a concrete dam normally creates areas of distress and cracking that usually can be identified visually. Cracking, opening of lift lines or construction joints, changes in seepage, and differential movements are all indications of potential overstressing. The overstressing may occur along the foundation because of differential or extreme foundation movements, or at any location in the mass concrete of the dam where stresses are excessive. The overstressing may be due to unusual external loading conditions such as earthquakes, temperature variations, contraction joint grouting pressures, foundation movements, or excessive uplift pressures in the foundation or along unbounded lift lines.

#### **4.1.6. Défauts des bords de retenue**

Le phénomène d'instabilité le plus fréquent correspond aux glissements de terrain. Pour l'évaluation du risque, on considère généralement le volume du glissement ; cependant il suffit parfois d'un petit glissement à un endroit critique pour mettre hors service un évacuateur de crues ou une vidange de fond, compromettant ainsi la sécurité du barrage.

Les glissements de terrain peuvent créer des digues à l'amont du barrage principal. La submersion de la digue créée par le glissement de terrain entraîne sa rupture rapide et envoi des torrents de boues dans le réservoir, ce qui peut affaiblir le barrage et ses ouvrages annexes.

Les glissements de terrain dans le réservoir peuvent créer des vagues et entraîner la submersion du barrage (exemple : barrage de Vaiont).

Les défauts des abords du barrage et le réservoir lui-même ont des risques de séismes induits dans le cas des réservoirs de grande capacité.

### **4.2. DÉTAILS DE L'INSPECTION APRÈS UN SÉISME**

Il est important de procéder à une inspection détaillée de tous les ouvrages afin de déterminer les modifications éventuelles provoquées par le séisme. Des croquis sont utiles pour la définition exacte de la nature et de l'ampleur des dégâts. Les conséquences visibles du séisme devraient être photographiées au plus tôt. L'utilisation d'appareils numériques et des systèmes de positionnement géographiques, si possible, permettent de transférer rapidement les informations et de les incorporer dans un rapport. Ces documents seront d'une valeur inestimable pour déterminer si des détériorations continuent ou non de s'aggraver. Il est important d'effectuer les lectures sur tous les appareils d'auscultation équipant le barrage, la fondation et les abords. Pour la surveillance globale des ouvrages et celle des zones détériorées, il peut être nécessaire de procéder à un relevé topographique de précision ou à la mise en place temporaire d'appareils de mesures pour fortes intensités de séisme. Des mesures spéciales doivent être prises pour s'assurer que les enregistrements des sismographes sont collectés et transmis aux responsables pour interprétation.

#### **4.2.1. Barrage en remblai**

L'observation des parements d'une digue en remblai peut permettre de déduire le comportement du barrage. La liquéfaction est un problème spécial que le séisme peut causer au barrage en remblai et à sa fondation. Pour cette raison, il importe d'inspecter de façon détaillée de toutes les surfaces visibles du barrage.

On procédera à la recherche des signes de déplacements, fissures, trous d'effondrement, résurgences, sols bouillants, et suintements. Il est possible qu'un ou plusieurs de ces phénomènes continuent de s'accroître et, dans ce cas, faute de remède approprié, il peut en résulter la rupture du barrage.

L'observation visuelle décèle souvent les déplacements de surface d'une digue. La visée, à l'œil nu, des alignements normalement parallèles ou concentriques à l'axe du barrage (route, parapet, garde-corps, canalisations, tranchées,...) aide souvent à déceler les zones de déplacements superficiels. Sur la crête, on recherchera les zones d'affaissement ou de fissuration qui sont parfois signes de glissement, de tassement ou de renflement des surfaces. Les parements amont et aval, ainsi que la zone aval de la digue peuvent manifester des phénomènes de même ordre (renflement, affaissement, ou en général toutes autres variations par rapport aux surfaces planes et régulières initialement construites). En cas de doute, s'il existe un réseau de bornes topographiques, on procédera rapidement à un nouveau relevé.



#### **4.1.6. Reservoir Margin Defects**

Landslides are the most prevalent form of instability affecting reservoir margins. The size of a landslide usually is the primary consideration when evaluating safety aspects; however, a small landslide in a critical location could disable a spillway or outlet and create an unsafe condition for the dam.

Landslides may dam watercourses into reservoirs. Subsequent overtopping of the landslide dams can cause them to fail rapidly and send surges to reservoirs threatening the dams impounding them and their appurtenant structures.

Landslides into the reservoir can cause flood waves (seiches) and dam overtopping (e.g. Vaiont Dam).

Faulting that exists within the vicinity of a dam site and the reservoir has the potential for reservoir-triggered seismic events for reservoirs that are large in size.

### **4.2. FEATURES TO BE INSPECTED AFTER EARTHQUAKE**

All features should be inspected to determine whether there are any changes that may have been a result of the earthquake. Notes should be taken or observations recorded. Sketches, photographs or videos may help to describe the nature and extent of any damages. Photographs should be obtained as soon as possible of any visible results from the seismic activity. These records will be invaluable in determining if there is additional distress developing in the structures. Photographing with a digital camera and locating observations and photographs using a geographic positioning sensor, if available, allows the information to be immediately transmitted and readily incorporated into incident reports. Measurements and readings should be taken of all instrumentation installed in the dam and foundation and in the immediate area. Additional precise surveys, temporary strong-motion seismographs, and other instrumentation may be desirable to monitor structures and individual damage locations. Special steps need to be taken to ensure that records from the seismographs are properly extracted and given to those responsible for their interpretation.

#### **4.2.1. Embankment Dams**

The external surfaces of an embankment dam can often provide clues to the behavior of the interior of the structure. Liquefaction is a special problem for susceptible embankment dams and foundations as a result of earthquake shaking. For this reason, a thorough examination of all exposed surfaces of the dam should be made.

The embankment should be carefully examined for any evidence of displacement, cracks, sinkholes, springs, sand boils and wet spots. Any of these conditions may be in a developing mode and, if they worsen and are not corrected, ultimately could lead to failure of the embankment.

Surface displacement on an embankment often can be detected by visual examination. Sighting along the line of embankment roads, parapet walls, utility lines, guardrails, longitudinal conduits, or other lineaments parallel or concentric to the embankment axis can sometimes identify surface movements of the embankment. The crest should be examined for depressions and crack patterns that could indicate sliding, settlement, or bulging movements. The upstream and downstream slopes and areas downstream of the embankment should be examined for any sign of bulging, depressions, or other variance from smooth, uniform face planes. If a permanent system of monuments for measurement of movement exists, and if any movement is suspected, a resurvey should be made without delay.

Les fissures à la surface d'une digue peuvent témoigner d'un état potentiellement dangereux. Les fissures superficielles ont souvent pour cause le dessèchement et le retrait des matériaux près de la surface du remblai. Il convient toutefois de noter la profondeur et l'orientation des fissures pour en déterminer l'origine. La profondeur et l'étendue des fissures peuvent être observées en les remplissant de teinture et en les excavant ensuite ; autrement, il sera difficile d'apprécier leur ampleur. Des ouvertures ou des pentes raides sur la crête ou sur les talus de la digue sont signes de glissement ; on examinera avec soin ces zones pour déterminer la situation et l'étendue des glissements. Les fissures superficielles dans les zones de contact du remblai avec les appuis ou avec les ouvrages en béton peuvent témoigner d'un tassement du remblai ; en cas de fissuration intense, il y a risque de création de chemin de fuite privilégié au contact. Il convient donc d'examiner ces zones avec grand soin. Des fissures peuvent aussi être les signes de tassements différentiels entre différentes zones du remblai. Des tranchées manuelles ou mécaniques permettent de déterminer la profondeur des fissures.

On observera le talus et le pied aval de la digue, la zone en aval et les appuis pour déceler les zones de suintement, les zones marécageuses, les zones de boulanges, les affaissements, les trous d'effondrement, les résurgences correspondant à des écoulements concentrés ou importants traversant le remblai ou ses appuis. Il est possible que plusieurs de ces phénomènes continuent de s'accroître et, dans ce cas, faute de remède approprié, il peut en résulter la rupture du barrage. Les autres signes de fuites sont : les zones molles, dépôts laissés par l'évaporation des fuites, poussée anormale de la végétation et, dans les régions froides, amas de glace ou au contraire fonte rapide de la neige. On examinera les fuites à la sortie pour noter l'entraînement éventuel de matériaux en suspension ; en cas de risque de lessivage, les échantillons des eaux d'écoulement et de l'eau de la retenue seront prélevés en vue de l'analyse chimique. On notera également le goût et la température des fuites pour aider à la détermination de leur origine. Pour les zones saturées, il faut déterminer leur nature : humidités superficielles, fuites à travers le remblai, etc. Les zones humides, les résurgences et les zones de boulanges sont reportées avec précision sur un plan pour être comparées avec les résultats des observations ultérieures. Les débits des fuites seront mesurés plus fréquemment pour connaître un développement éventuel qui risquerait de compromettre la sécurité.

Un contrôle des drains permet de déceler les variations de débit (en plus ou en moins) et les obstructions des drains par les matériaux.

Outre son rôle de vérification des prévisions de comportement du barrage et de sa fondation, les appareils d'auscultation peuvent également indiquer les évolutions néfastes. Les lectures doivent être faites plus fréquemment si la secousse sismique a changé l'évolution habituelle des mesures. Les séismes peuvent aussi provoquer l'augmentation des pressions interstitielles par la réduction des volumes des sols et/ou leur contrainte de cisaillement et, indirectement le transfert des charges vers des sols plus résistants.

#### **4.2.2. Barrages en béton ou en maçonnerie**

Il existe plusieurs types de barrages en béton : poids, à contreforts, à voûtes multiples et voûte unique. Les barrages en maçonnerie sont assimilés à des barrages poids à beaucoup de joints. Quel que soit le type, tous ces barrages répondent aux mêmes conditions en ce qui concerne la sécurité.

Après un séisme, le contrôle permet de mettre en évidence les signes de détériorations (valeurs anormalement élevées des contraintes ou déformations, instabilité). Généralement le barrage est équipé de repères topographiques et de pendules dont les mesures périodiques permettent de se rendre compte des mouvements du barrage ; ces résultats sont reportés graphiquement pour déceler les évolutions de comportement. En outre certains signes de mouvement sont décelables à l'inspection : pour un barrage-poids ou en maçonnerie, on vise à l'œil nu, la ligne de crête du parapet ou du garde-corps, d'un appui à l'autre. Chaque joint de contraction ou chaque ligne de blocs pour un barrage en maçonnerie, sera observé pour rechercher les mouvements différentiels entre plots ou entre blocs. Les joints seront examinés pour déceler toute ouverture ou fermeture anormale, tout mouvement exagéré. Au contact de la fondation, les signes de déplacements différentiels du barrage par rapport à la fondation seront recherchés.

Cracks on the surface of an embankment can be indicative of potentially unsafe conditions. Surface cracks are often caused by desiccation and shrinkage of materials near the surface of the embankment; however, the depth and orientation of the cracks should be determined for a better understanding of their cause. The depth and extent of cracks can be observed by first filling the cracks with dye and then excavating. Otherwise it can be difficult to identify the extent of cracking. Openings or escarpments on the embankment crest or slopes can identify slides and a close examination of these areas should be made to outline the location and extent of the slide mass. Surface cracks near the embankment-abutment contacts, and contacts with other structures can be an indication of settlement of the embankment and, if severe enough, a path for seepage can develop along the contact. Therefore, these locations must be thoroughly examined. Cracks can also indicate differential settlement between embankment zones. Trenches are often excavated by machine or by hand to determine the depth of cracking.

The downstream face and toe of the dam, as well as areas downstream of the embankment, and natural abutments should be examined for wet spots, boils, depressions, sinkholes, or springs, which may indicate concentrated or excessive seepage through the dam or abutments. Any of these conditions may be in a developing mode and, if they worsen and are not corrected, ultimately could lead to failure of the embankment. Other indicators of seepage are soft spots, deposits from evaporation of water, abnormal growth or vegetation and, in colder climates, ice accumulation or areas where rapid snowmelt occurs. Seepage water should be examined for any suspended solids (turbidity) and, if solutioning is suspected, samples of the seepage and reservoir water should be collected for chemical analyses. Seepage also should be tested for taste and temperature to help identify its source. If saturated areas are located, they should be studied to determine if the wet spot(s) are a result of surface moisture, embankment seepage, or other sources. Wet areas, springs, and boils should be located accurately and mapped for comparison with future inspections. Seepage should be measured and monitored on an increased frequency to ensure that an adverse trend does not develop which could lead to an unsafe condition.

Drainage systems should be inspected for increased or decreased flow and for any obstructions which could plug the drains.

In addition to verifying anticipated embankment and foundation performance, instrumentation also can be an indicator of developing unsafe conditions. Readings should be made frequently, if earthquake shaking has changed the historical steady state readings. Earthquakes can cause increases in pore piezometric levels by shaking-caused soil volume reduction and/or shearing, and indirectly by earthquake compacted soils transferring loads to stiffer soils.

#### **4.2.2. Concrete and Masonry Dams**

Concrete dams encompass a variety of structures which include gravity, slab and buttress, multiple arch, and single arch dams. Masonry dams may be considered as gravity structures with many joints. Regardless of the type, all dams are subject to the same basic considerations with respect to safety.

The dam should be checked for indications of excessive stress and strain as well as signs of instability. Most dams have survey points and/or plumb lines for regularly scheduled measurements of movement within the dam, the results of which can be plotted to determine the behavioral trend. There are obvious indications of movement which can be noted during an inspection. A gravity or masonry dam usually can be checked by sighting along the parapets or handrails from one abutment to the other. Each contraction joint or row of masonry blocks should be examined for evidence of differential movement between adjacent blocks. The joints should be examined for evidence of excessive expansion or contraction and excessive movement. The foundation contacts should be examined for any evidence of differential movement between the dam and the foundation.

Toutes les fissures et tous les éclats de béton ou de pierre sur les parements du barrage et dans les galeries seront examinés. Pour les barrages-poids, la zone de fissuration préférentielle est située dans la partie haute ; pour les barrages-voûtes, elle est localisée près des appuis et sur l'arc supérieur. On recherchera la correspondance entre les fissures relevées en galerie et celle des parements. Les fissures et les éclats de béton relevés précédemment seront examinés pour identifier leurs évolutions éventuelles. Pour les fissures et tous les éclats de béton nouvellement observés, leur type (fissure de traction, d'écrasement) et leur origine seront notés. Ils seront mesurés et marqués de telle sorte que leurs évolutions soient décelées lors des inspections subséquentes.

Pour les percolations, on examinera l'origine possible, par exemple reprises de bétonnage défectueuses, rupture de joint d'étanchéité, érosion du mortier. Les débits des fuites seront comparés aux mesures antérieures correspondant au même niveau de retenue, pour déceler les variations éventuelles importantes.

Les drains et les barbacanes doivent être contrôlés ; ils doivent rester ouverts et fonctionner selon les prévisions. On notera toute variation importante de débit des drains situés dans le barrage et dans la fondation.

#### **4.2.3. Appuis et fondations**

Les zones critiques des appuis et des fondations sont généralement immergées et, de ce fait, ne sont pas accessibles à l'observation directe. Les parois amont sont recouvertes par l'eau de la retenue. Pour cette raison, l'observation directe est limitée au contact aval des appuis et au pied aval du barrage. Les galeries de drainage et d'injection peuvent également être visitables. En plus il est parfois possible d'accéder aux fondations d'ouvrages annexes. Le comportement des ouvrages est le plus souvent le reflet des modifications survenues dans la fondation.

Les signes de percolation néfaste sont parfois évidents, parfois subtiles. L'attention est attirée immédiatement sur les variations des débits mesurés aux drains (en plus ou en moins). Un autre indicateur significatif est le démarrage plus fréquent des pompes d'exhaure. La turbidité (matériaux solides en suspension) prouve la présence d'érosion interne (renards) et constitue un phénomène très préoccupant. L'ouverture des joints provoquée par la secousse sismique peut être la cause de rupture du rideau d'injection. Par ailleurs, les faibles augmentations des fuites (moins de 1 litre/seconde dépendant de la taille et de la nature du barrage) sont fréquentes et provoquées par l'ouverture de petits joints du rocher ou le mouvement des fines dans les fractures.

Les changements temporaires (en plus ou en moins) des débits des fuites et des pressions interstitielles sont fréquents et reviennent aux valeurs avant séisme quelques heures après la secousse même si dans quelques cas, les changements ont été permanents ou ont pris beaucoup de temps pour revenir aux valeurs initiales. L'annexe 4 présente des cas traitant de l'impact des séismes sur les fuites et les sous-pressions au Japon.

En cas de possibilité de lessivage (matériaux solides dissous), il convient de prendre des échantillons de l'eau de percolation et de la retenue pour des analyses chimiques. Ces analyses sont destinées à préciser le matériau en jeu. Si l'on mesure le débit, la vitesse de lessivage peut être estimée.

#### **4.2.4. Retenue**

Généralement, la cuvette a peu d'influence sur la stabilité du réservoir. Néanmoins, il convient d'examiner cette zone pour déceler les phénomènes éventuellement capables de compromettre la sécurité d'exploitation. On recherchera dans les zones immédiatement à l'amont et aux appuis ainsi qu'à la surface du réservoir des signes d'écoulements anormaux qui indiqueraient que des fuites se produisent. Cette recherche inclut les remous et tout autre écoulement inhabituel.

All cracks and spalls on the dam faces and in the galleries should be examined. Gravity dams would more likely show new cracking in the upper part of the dam, and arch dams near the abutment and top arch. Gallery cracks should be examined to see if they coincide with face cracks. Cracks and spalls noted during past inspections should be examined for any change of condition. New cracks and spalls should be noted and examined to determine the type, such as tension or crushing and the reasons for their existence. They should be marked and measured so that any changes can be detected during subsequent inspections.

Seepage should be examined to determine the possible sources such as poor bond on lift lines, waterstop failure, structural cracks, and erosion of mortar. The quantity of seepage should be compared with previously observed quantities to determine if there has been any significant change in the flow for similar reservoir elevations.

Drain and weep holes should be checked to determine if they are open and functioning as designed. Drains in the foundation and the dam should be examined to determine if there have been significant changes in their flow.

#### **4.2.3. Abutments and Foundation**

Critical areas of the abutments and foundations are usually covered and not available for direct inspection. Inspection of upstream portions of the abutments and foundation is normally not possible because of reservoir storage. Therefore, physical examination is typically limited to the downstream abutment contacts, toe of the dam and foundations of some appurtenant structures. Grouting and drainage tunnels also may be available for inspection. Reaction of structures often reflects foundation changes.

Indications of harmful seepage may be quite obvious or very subtle. Changes in measured flow from monitored drains, whether increases or decreases, are immediately suspect. Another indication of changes might be increased frequency of sump pump operation. The presence of suspended particles in seepage water is evidence that piping is taking place and is cause for immediate concern. Joint opening caused by earthquake shaking can rupture grout curtains. On the other hand, small increases in seepage (less than one litre/second - but this would depend on the individual size and nature of dam) are common and are apparently caused by minor opening of rock joints or dislodging or movement of fines in fractures.

Temporary changes (both increases and decreases) in seepage and piezometric pressures are common and should normally start to return to pre-earthquake levels within a few hours after the earthquake however in some cases they may be permanent or take a long time to reverse. Refer to Appendix 4 for case histories of impact of earthquakes on leakage and uplift pressures in Japan.

When the possibility of solutioning exists, samples of reservoir and seepage water should be collected for water quality analyses. Such analyses can identify the soluble material. If the rate of seepage can be determined, the rate of solutioning can be estimated.

#### **4.2.4. Reservoir**

The reservoir basin usually does not directly affect the stability of the dam; however, the reservoir should be examined for features which may compromise the safe operation of the dam and reservoir. Immediately upstream of the dam and its abutments the reservoir surface should be inspected for indications of abnormal flow patterns that may indicate gross leakage is taking place. These may include whirlpools or an unusual flow pattern.

Les alentours de la cuvette seront examinés pour déceler les manifestations de phénomènes susceptibles de nuire à la sécurité du barrage ou de la retenue. Les formes topographiques et les structures géologiques régionales seront étudiées. Il convient d'examiner les zones d'extraction (minerai, charbon, gaz, pétrole, eau). Une inspection régionale portera sur les signes d'affaissements (dolines, ravins, tassements des routes et ouvrages d'art). Le comportement des ouvrages fondés sur la même formation géologique pourra fournir des renseignements sur le comportement possible de celui-ci et de ses ouvrages annexes. Lors de chaque contrôle, le niveau de la retenue sera enregistré.

La surface de la cuvette sera examinée afin de relever les affaissements, les dolines, l'érosion des talus naturels ou des revêtements de la cuvette.

Il faut aussi visiter les zones des bassins versants situés à proximité du barrage. Toutes nouvelles fuites ou résurgences peuvent indiquer des percolations de l'eau de la retenue à travers les rives.

#### **4.2.5. Glissements de terrains**

Le terme "glissement" comprend tous les types de mouvements de terrain en masse pouvant affecter le barrage, les ouvrages annexes, la retenue et les voies d'accès. Il comprend également les glissements actifs, inactifs et potentiels depuis le petit talus d'instabilité jusqu'aux mouvements de grand volume. Outre ces glissements, l'inspection doit porter sur les chutes ou glissements de blocs rocheux ou des masses homogènes ; ces phénomènes peuvent se produire non seulement sur les rives de la cuvette mais aussi sur les appuis du barrage et les versants dominants l'usine hydroélectrique. Les glissements de terrain peuvent créer des barrages sur les affluents du cours d'eau ou provoquer des vagues dans la retenue.

Le groupe d'experts comprendra au moins un membre ayant de bonnes connaissances des problèmes de glissements de terrain (origine, mécanisme, les caractéristiques, symptômes, remèdes). Les zones de glissements se manifestent souvent sous la forme de talus raides, d'arbres penchés, rupture de pente des collines, de modifications d'alignement.

#### **4.2.6. Ouvrages annexes**

La visite doit porter sur tous les ouvrages susceptibles d'influencer la sécurité de l'exploitation du barrage: évacuateur de crues, ouvrages de vidange, canaux de fuite, centrale hydroélectrique, canaux de restitution. Chacun de ses ouvrages comporte au moins certaines caractéristiques suivantes :

##### ***Canaux d'amenée et de restitution***

Dans la quasi-totalité des aménagements hydrauliques, on trouve des canaux d'amenée et de restitution, avec des talus en déblai ou en remblai en terre ou rocheux. La plupart des évacuateurs avec des parois en terre ou rocheux ont un ouvrage de contrôle en béton ou en rocher sain afin de réduire les infiltrations ou les risques d'érosion au droit du barrage. Les canaux d'amenée et ouvrages de restitution sont généralement immergés et leur visite exige des moyens spécialement adaptés. Les protections des ouvrages de restitution à proximité du bassin de dissipation doivent être examinées afin de s'assurer qu'elles fonctionnent comme prévu par le projet. Une attention particulière est à accorder à la possibilité que les matériaux soient entraînés hors ou dans le canal lors du fonctionnement du bassin.

Les talus des canaux doivent être stables, sans zones d'affaissements, de glissements ou de débris. Les observations porteront sur les zones d'effondrement, les zones de boulangerie ou de renard. Les canaux au voisinage des prises et des ouvrages de restitution devront être suffisamment dimensionnés pour permettre un écoulement satisfaisant, tel que prévu dans le projet.

The region around the reservoir should be examined for indications of problems which might affect the safety of the dam or reservoir. Landforms and regional geologic structures should be assessed. Areas of mineral, coal, gas, oil, and groundwater extractions should be examined. The region should be checked for subsidence indications such as sinkholes, trenches, and settlement of highways and structures. The reaction of other structures on the same formation may provide information on the possible behavior of the dam and appurtenances. Whenever an inspection is made, the elevation of the reservoir should be recorded.

The reservoir basin surfaces should be examined for depressions, sinkholes, or erosion of natural surfaces or reservoir linings. The reservoir basin should also be inspected for excessive siltation, which can adversely affect the loading of the dam or obstruct the inlet channels to the spillway or outlet works.

The drainage basins in areas adjacent to but on the outside of the reservoir rim should be examined. Any new springs or seepage areas may indicate that reservoir water is passing through the reservoir rim. Such seepage also may cause land instability in these areas.

#### **4.2.5. Landslides**

Landslides, as used herein, include all forms of mass movement that can affect the dam, appurtenances, reservoir, or access routes. They include active, inactive, and potential slide areas which can range from minor slope raveling to large volume movements. In addition to slide phenomenon, the inspection also should determine if there has been any toppling or sliding of intact rock blocks or masses. These can occur not only in the reservoir but also in the abutments of the dam and above powerhouses. Landslides might form natural dams on tributary streams or cause waves on reservoir surfaces.

At least one team member should be knowledgeable about landslide causes, mechanisms, characteristics, symptoms, and treatment. Slide areas often can be identified by escarpments, leaning trees, hillside distortions, or misalignment of linear features.

#### **4.2.6. Appurtenant Structures**

All appurtenant structures that could affect the safe operation of the dam should be examined. These structures include the spillway, outlet works, power outlets and powerplants, and canal outlets. Inspection of critical components such as spillway gates or bottom outlets may not be adequate to verify their operability and in these cases these components should be physically tested and exercised. Each of the structures may be composed of any or all of the following features:

##### ***Inlet and Outlet Channels***

Practically every hydraulic structure is served by inlet and outlet channels composed of cut or fill slopes of soil or rock. Most soil- or rock-lined spillways have a concrete or solid rock control section to reduce seepage or erosion potential past the dam. Outlet works inlet channels are usually submerged and may require special underwater investigation. Channel protection adjacent to the energy dissipation structure should be examined to determine if it is performing as designed. Special attention should be given to the possibility that the material may wash either out of the channel or back into the structure during operation.

The channels should have stable slopes and be free of sloughs, slides and debris, and should be examined for evidence of sinkholes, boils, or piping. The channels should provide satisfactory clearance around intake and terminal structures so the structures can operate hydraulically as designed.

Les débits sortants devront être examinés afin de déceler la présence éventuelle de matériaux solides (terres, fragments de rocher ou de béton), ce qui signifierait que le canal est rompu et que les matériaux du remblai ou de la fondation sont sujets à l'érosion. La source de la turbidité de l'eau peut être seulement les sédiments déposés dans le réservoir et remués par la secousse sismique. Des observations répétées sont nécessaires pour déterminer la source de la turbidité.

### ***Éléments critiques pour la sécurité du barrage***

L'opérationnalité des éléments critiques, comme les vannes qui assurent une protection du barrage en cas de crue et réduisent les poussées sur le barrage en cas de secousse, doit être vérifiée. Les fuites anormalement élevées aux vannes peuvent signifier une distorsion ou un voilage qui rendra impossible leur utilisation. Les superstructures doivent être examinées pour déceler les obstructions ou dommages. Les systèmes de commandes (les treuils, les vérins hydrauliques, servo-moteurs) et leurs supports (plateformes de pont et piliers des évacuateurs), doivent être examinées à la recherche à la recherche de tout dommage qui pourrait rendre les vannes inopérantes. De même les systèmes de secours en énergie doivent être inclus dans le programme d'inspection après séisme.

### ***Conduites forcées***

Dans certains cas, la rupture de la conduite forcée ou des fuites importantes à travers elle peut conduire à l'érosion du parement aval ou du pied aval d'un barrage en terre, ce qui a des implications négatives sur la sécurité du barrage. Ces conduites forcées et leurs vannes de prises doivent être inspectées pour s'assurer de leur bon fonctionnement.



The outflow water should be examined for the presence of rock and soil or concrete fragments, which may mean that the conduit has been breached and embankment or foundation material is being eroded. On the other hand, the source of turbidity may only be reservoir sediments that were stirred up by earthquake shaking. Repeated observations are usually necessary to identify the source of turbidity.

### ***Dam Safety Critical Plant***

Dam safety critical plant, such as gates and valves required by dams to provide flood protection and to reduce loads on the dam after the earthquake shaking should be inspected for operability. Abnormally high leakage from gates and valves may indicate distortion and warping precluding their use. Structural elements should be examined for buckling and damage. Operating equipment such as winches, hydraulic systems, control systems and their support structures, such as spillway bridge decks and spillway piers, should be inspected for any damage that may render the gates or lifting equipment inoperable. Similarly the condition of backup power supplies should be included in the post-earthquake inspection schedules.

### ***Penstocks***

In some cases penstock failure or significant leakage from penstocks may lead to erosive damage to an earth dam downstream face or its toe that has safety implications for the dam. The condition of these penstocks and their controlling intake gates should be inspected to confirm satisfactory conditions.

**ANNEXE 1**  
**ÉCHELLE D'INTENSITÉ MODIFIÉE DE MERCALLI DE 1931 (RESUMÉ)<sup>1</sup>**

Échelle d'intensité	Événement
I	Ressenti seulement par quelques personnes moyennant des conditions très favorables.
II	Ressenti par quelques personnes au repos notamment ceux aux étages supérieurs des bâtiments. Balancement éventuel des objets délicatement suspendus.
III	Ressenti nettement à l'intérieur des bâtiments, notamment aux étages supérieurs, mais souvent on ne pense pas à un tremblement de terre. Des automobiles en stationnement peuvent être secouées légèrement. Les vibrations sont analogues à celles produites par un poids –lourd qui passe. La durée peut être estimée.
IV	De jour, ressenti par un grand nombre de personnes à l'intérieur des bâtiments, mais par peu de gens à l'extérieur. La nuit, certains dormeurs se réveillent. La vaisselle, les portes et les fenêtres sont ébranlées ; bruits de craquement des murs. Perçu comme un poids-lourd heurtant un bâtiment. Les automobiles en stationnement sont fortement secouées.
V	Ressenti par Presque la totalité de la population ; beaucoup de dormeurs se réveillent ; Quelques bris de vaisselle, de fenêtres etc. quelques cas d'enduits fissurés. Renversement d'objets instables. Parfois ébranlement d'objets élançés (arbres, poteaux, etc.). Les horloges à pendule peuvent s'arrêter.
VI	Ressenti par l'ensemble de la population; beaucoup ont peur et se ruent dehors. Déplacement de mobilier lourd. Quelques cas de chutes d'enduits et de détérioration de cheminées. Dégâts faibles.
VII	Tout le monde se rue dehors. Peu de dégâts aux bâtiments de conception et de constructions satisfaisantes. Dégâts faibles ou moyens aux ouvrages de conception courante et bien construits ; dégâts importants aux ouvrages mal conçus ou mal construits ; effondrement de quelques cheminées. Ressenti par les conducteurs d'automobiles.
VIII	Dégâts légers aux bâtiments de conception spéciale ; dégâts importants aux bâtiments bien construits mais de conception ordinaire, avec des effondrements partiels. Dégâts très importants aux bâtiments mal construits. Déboîtement des murs rideaux. Effondrement des cheminées de maisons et d'usine, de colonnes, de monuments et de murs. Renversement de mobilier lourd. Expulsion de petite quantité de sable et de boue. Modification des eaux des puits. Perturbation des conducteurs d'automobiles.
IX	Dégâts importants aux ouvrages de conception spéciale ; perte d'aplomb des bâtiments à ossature bien conçus ; dégâts très importants aux bâtiments de bonne qualité, avec effondrement partiel. Déplacement des bâtiments par rapport à leurs fondations. Fissuration du sol évidente. Cassure des canalisations enterrées.
X	Destruction de quelques ouvrages en bois bien construits. Destruction de la plupart des bâtiments en maçonnerie ou à ossature, ainsi que leurs fondations ; fissuration importante du sol. Rails tordus. Importants glissements des berges des cours d'eau et des talus raides. Déplacement de sable et de boue. Éclaboussures (débordement) des eaux sur les rives.
XI	Destruction de presque tous les bâtiments (maçonnerie). Effondrement des ponts. Fissures du sol très ouvertes. Toutes les canalisations enterrées hors service. Affaissement et glissement des talus en terrains mous. Rails très tordus.
XII	Destruction totale. Ondes visibles sur la surface du sol. Les alignements et nivellements sont détruits. Les objets sautent en l'air.

NOTE : L'échelle d'intensité modifiée de Mercalli est encore en usage dans beaucoup de pays mais elle n'est pas la seule échelle utilisée. Certains pays européens pensent que l'échelle d'intensité modifiée de Mercalli est dépassée. L'échelle d'intensité modifiée de Mercalli est utilisée ici comme un exemple et chaque pays devrait utiliser l'échelle qui lui convient. Toutes ces échelles poursuivant le même but.

<sup>1</sup> Pour une description complète de cette échelle, voir VSSA Vol.3 p. 277-283, Wood & Neumann 1931

---

**APPENDIX 1**  
**MODIFIED MERCALLI INTENSITY SCALE OF 1931 (ABRIDGED)<sup>1</sup>**

---

Intensity N°	Event
I	Not felt except by a very few persons under especially favourable circumstances.
II	Felt only by a few persons at rest, especially on upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing.
III	Felt quite noticeable indoors, especially on upper floors of buildings, but many people do not recognize it as an earthquake. Standing motor cars may rock slightly. Vibrations like passing of truck. Duration estimated.
IV	During the day felt indoors by many, outdoors by a few. At night some awakened. Dishes, windows, doors disturbed; walls make creaking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing motor cars rocked noticeably.
V	Felt by nearly everyone; many awakened. Some dishes, windows, etc., broken; a few instances of cracked plaster; unstable objects overturned. Disturbance of trees, poles, and other tall objects sometimes noticed. Pendulum clocks may stop.
VI	Felt by all; many frightened and run outdoors. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster or damaged chimneys. Damage slight.
VII	Everybody runs outdoors Damage negligible in buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by persons driving motor cars.
VIII	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings with partial collapse; great in poorly built structures. Panel walls thrown out of frame structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, and walls. Heavy furniture overturned. Sand and mud ejected in small amounts. Changes in well water. Persons driving motor cars disturbed.
IX	Damage considerable in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb; great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes broken.
X	Some well-built wooden structures destroyed, most masonry and frame structures destroyed with foundations; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from river banks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water splashed (slopped) over banks.
XI	Few, if any (masonry) structures remain standing. Bridges destroyed. Broad fissures in ground. Underground pipelines completely out of service. Earth slumps and land slips in soft ground. Rails bent greatly.
XII	Damage total. Waves seen on ground surfaces. Lines of sight and level distorted. Objects thrown upward into the air.

NOTE: The MMI scale is still used by many countries as the default intensity scale but it is by no means the only scale used. Some European countries believe that the MMI scale is outdated. The MMI scale is included here as an example of an intensity scale and each country should use whatever scale is accepted in their country. They are all similar in their purpose however.

---

<sup>1</sup> For complete details on this intensity scale, see BSSA, vol.3, p.277-283, Wood & Neumann, 1931

---

## ANNEXE 2

### SYSTÈME D'ALERTE EN CAS DE SÉISME

---

#### États-Unis d'Amérique

Les cartes des secousses sismiques sont élaborées automatiquement pour les moyens et forts séismes en Californie, Nevada, Utah, Oregon, Washington et Alaska.

Il s'agit de cartes préliminaires des secousses sismiques, normalement transmises quelques minutes après le séisme. Les cartes donnent les informations suivantes :

- la valeur maximale de l'accélération terrestre dans la limite de 0,1g.
- La vitesse de propagation au sol dans la limite du cm/s.
- La détermination de l'intensité modifiée de Mercalli représentée en bandes colorées.
- La réponse aux périodes de 0,1 ; 1,0 ; et 3,0 secondes dans le contour de 0,1g.

Un exemple d'estimation de la valeur maximale de l'accélération terrestre est montré en Fig. 1.

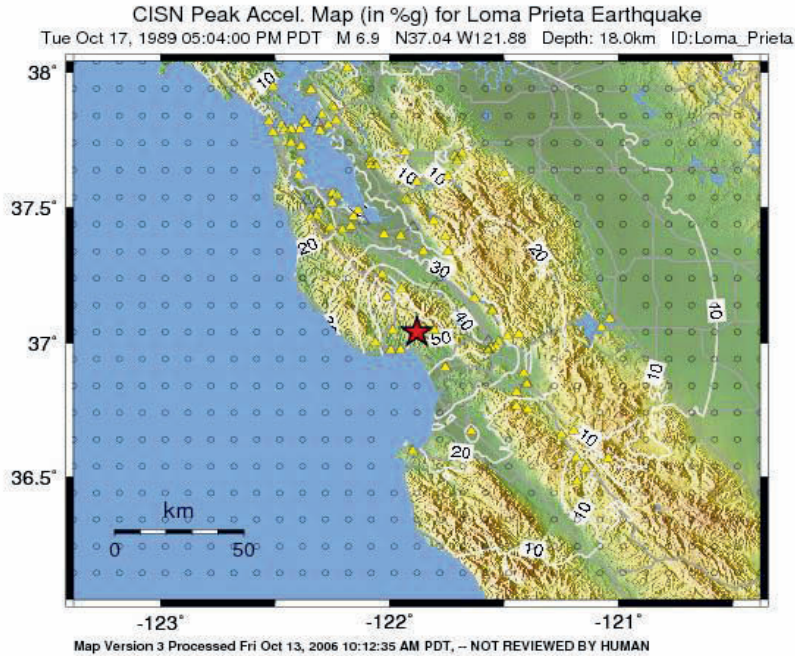


Fig. 1

Carte montrant les contours de l'accélération terrestre maximale pour le séisme de magnitude 6,9 de Loma Prieta en Californie

Les cartes types déduites de l'instrumentation rendent plus facile la corrélation entre les secousses mesurées d'une part et, d'autre part, la sensation du séisme et la distribution des dégâts.

---

## APPENDIX 2 EARTHQUAKE ALARM SYSTEMS

---

### United States of America

Shake maps are generated automatically following moderate and large earthquakes in California, Nevada, Utah, Oregon, Washington and Alaska, USA.

They are preliminary ground shaking maps, normally posted within minutes of the earthquake. Separate maps provide:

- Peak horizontal ground acceleration in contours of 0.1g.
- Peak horizontal ground velocity in contours of cm/s.
- An instrumentally-derived, estimated Modified Mercalli Intensity in colored bands.
- Spectral response at periods of 0.3, 1.0 and 3.0 seconds in 0.1g contours.

A typical estimated peak ground acceleration map is shown in Fig. 1.

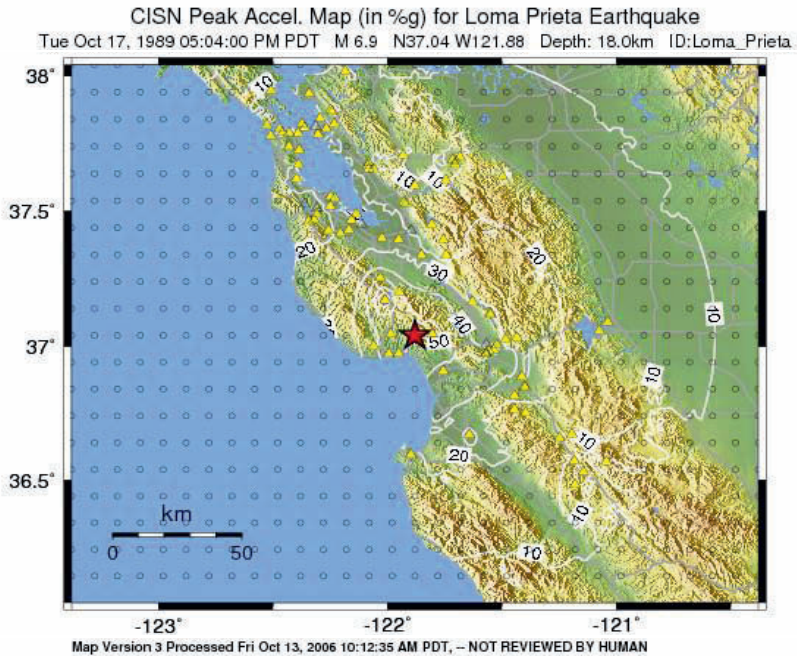


Fig. 1  
Map showing contours of peak ground acceleration for the magnitude 6.9  
Loma Prieta earthquake in California

The instrumentally derived intensity map type makes it easier to relate the recorded ground motions to the expected felt and damage distribution.

Les cartes sont basées aussi sur les accélérations mesurées en temps réel dans les stations de mesures. En vue de bien définir les zones concernées et de minimiser l'impréparation au séisme due au manque de données, les données disponibles sont augmentées de valeurs interpolées pour les zones dépourvues de stations. En utilisant l'épicentre du séisme et la magnitude, les amplitudes des secousses sont estimées à partir des courbes appropriées. Comme les stations de mesures augmentent, la nécessité de disposer de valeurs interpolées va diminuer.

Après un séisme de magnitude supérieure à 5,5, la carte de réponse spectrale est élaborée. La réponse spectrale représente la réponse d'un oscillateur un degré de liberté aux secousses mesurées. Pour chaque station, la valeur utilisée est la valeur horizontale maximale représentant 5 % de la valeur amortie de pseudo-accélération.

Les cartes de base sont couplées aux cartes de relief qui incluent les villes, les principales routes, etc. Les failles majeures, l'épicentre et les principales stations de mesure sont représentées, tout comme les zones où l'accélération et les vitesses sont interpolées pour faire face aux manques de données.

Lorsque qu'on observe les cartes des secousses maximales avec un Navigateur doté de Javascript, on peut avoir des informations additionnelles sur l'épicentre et visualiser les stations qui l'ont enregistré. Les informations sur le séisme comprennent la date, l'heure, la Situation avec les coordonnées en degrés de longitude et latitude, et la profondeur de l'hypocentre en km. Les informations sur la station sont : le code et le nom, la société qui gère la station, la Situation avec les coordonnées en degrés de longitude et latitude, les valeurs maximales de l'accélération et de la vitesse pour chaque composante de la secousse.

ShakeCast, un raccourci pour ShakeMap Broadcast, est un système automatique développé par le service géologique des États-Unis pour utiliser ShakeMap pour les mesures d'urgence en réponse à un séisme. Le logiciel télécharge automatiquement les dernières cartes et compare les niveaux de secousses aux niveaux d'alerte pour les structures, ouvrages ? ShakeCast (version 1) autorise trois niveaux de dégâts et d'alerte : dégâts improbables (alerte verte) ; dégâts possibles (alerte jaune) et dégâts probables (alerte rouge). ShakeCast peut utiliser n'importe quel paramètre de secousses délivrée par SkateMap pour spécifier les niveaux de dégâts. Le logiciel informe immédiatement les responsables de la survenue du séisme et de l'intensité au niveau de l'ouvrage par courrier électronique et par téléphone cellulaire.

## **Australie**

Les propriétaires des grands barrages se reposent sur des systèmes intelligents pour les avertir des séismes et l'établissement des rapports avec les actions à entreprendre. Plusieurs approches ont été adoptées par les gestionnaires des barrages pour organiser la réponse au séisme mais celle généralement utilisée est décrite ci-dessous.

La priorité dans la mise en œuvre des actions de réponse pour les barrages, dépend de trois facteurs principaux qui sont :

- la valeur maximale de l'accélération terrestre ou l'intensité au site de chaque barrage.
- La sensibilité de chaque barrage au séisme.
- Les conséquences de la rupture du barrage.

Le premier facteur peut être calculé par un logiciel ou programme.

Le second facteur est basé sur la capacité du barrage à résister à la charge sismique. Ce facteur peut être basé sur des cas historiques de dommages à un type particulier de barrages. Par exemple, le facteur peut être grand pour les barrages en remblai (homogènes ou mis en place par remblayage hydraulique), et faible pour les barrages-voûtes.

Le troisième facteur est juste une mesure des conséquences de la rupture du barrage et peut être simplement basé sur le niveau de risque pour le barrage.

To the extent possible the maps are based on accelerations measured at real time strong motion stations. In order to stabilize contouring and minimize the misrepresentation of the ground motion pattern due to data gaps, these data are augmented by predicted values in areas without stations. Using the epicenter and magnitude, peak ground motion amplitudes are estimated from relevant attenuation curves. As the real-time station density increases, the need for this augmentation will decrease.

Following earthquakes larger than magnitude 5.5, the spectral response maps are made. Response spectra portray the response of a damped, single-degree-of-freedom oscillator to the recorded ground motions. For each station, the value used is the peak horizontal value of 5% critically damped pseudo-acceleration.

The base maps are shaded relief maps that include cities, major highways, etc. Major faults, the epicenter and the strong motion recording sites station are shown, as are the locations where acceleration and velocities were predicted to fill in gaps are identified.

When viewing the peak ground motion maps using a Javascript-enabled browser, additional information about the earthquake epicenter and recording seismic stations can be viewed. The earthquake information includes the event date, time, location coordinates in degrees latitude and longitude, and hypocentral depth in kilometers. The station information includes the station code and name, the agency that manages the station, the station location coordinates in degrees latitude and longitude, and the peak acceleration and velocity values for each component of ground motion.

ShakeCast, short for ShakeMap Broadcast, is a fully automated system developed by the U.S. Geological Survey (USGS) to utilize ShakeMap in post-earthquake emergency response. The software automatically downloads a newly released ShakeMap and compares the measured ground motions against fragility levels pre-set for engineering structures. ShakeCast (version 1) allows three levels of fragilities to be set; damage unlikely (green alert), damage possible (yellow alert), and damage likely (red alert). ShakeCast can use any of the ground motion parameters currently transmitted by ShakeMap to specify fragilities. The software immediately notifies responsible personnel of the earthquake and the shaking level experienced at the facility via email or cell phone.

## **Australia**

Many major dam owners in Australia rely on intelligent systems to provide notification to them of earthquake occurrences and reports setting out recommended response actions. Different approaches have been adopted for the system response by the different dam owners but the generic approach is as follows.

The priority of implementing response actions for dams is usually dependent on three key factors, being:

- The peak ground acceleration or intensity experienced at the individual dams.
- The susceptibility of the individual dams to earthquake shaking.
- The consequences of the failure of the dam.

The first factor can be calculated by a system as described above.

The second factor is determined based on the capability of the dam to resist seismic load. This factor can be based on historical evidence regarding damage to particular classes of dams. For example, the factor would be high for homogenous or hydraulic fill earthfill embankments and low for arch dams.

The third factor is just a measure of the consequences of a dam failure and could be simply based on the hazard rating for the dam.



En affectant des valeurs numériques à chaque facteur et en les combinant (par exemple le produit des trois facteurs), on obtient un ordre de priorité globale. Pour les barrages ayant été soumis à un séisme de magnitude de 4 ou plus, un score de priorité est déterminé et les ouvrages sont classés par ordre décroissant, pour établir les priorités du programme d'inspection.

Les priorités peuvent être regroupées en plusieurs catégories avec des réponses précises pour chacune d'elles. Un système courant adopte les catégories de réponses suivantes :

Niveau de réponse	Impact probable*	Réponse requise
A	Inférieur à 4	Inspecter le barrage à la prochaine inspection de routine
B	Niveau 4	Inspecter le barrage dans les 18 heures
C	Niveau 5	Inspecter le barrage dans les 6 heures
D	Niveau 6	Inspecter le barrage immédiatement
E	Niveau 7 ou plus	Inspecter le barrage immédiatement

\* Le tableau ci-dessus est simplifié et est basé uniquement sur le facteur 1 i.e. l'intensité du séisme au site du barrage.

Un rapport sur le séisme est généré automatiquement et peut être faxé, expédié par courrier électronique, par texto, ou par téléphone à toute personne concernée.

Le rapport contient généralement les informations suivantes:

- Les informations sur le séisme: l'heure, la situation, la magnitude.
- Les impacts attendus du séisme (estimation de l'intensité à plusieurs rayons de l'épicentre).
- Les ressources nécessaires pour l'inspection prioritaire.

Un exemple de rapport est présenté en annexe 3. Les rapports peuvent être divisés en plusieurs parties en fonction des centres opérationnels qui existent dans l'organisation.

Les recommandations du rapport peuvent être utilisées avec d'autres données spécifiques du site et le savoir-faire pour mettre en œuvre une réponse rapide, effective et peu coûteuse pour un groupe de barrages, particulièrement ceux qui ne sont pas suivis en permanence.

## Japon

Deux agences publient les cartes des secousses sismiques.

L'agence météorologique du Japon publie les rapports sur l'intensité du séisme à plusieurs endroits quelques minutes après l'événement. La carte est publiée immédiatement sur le site internet. Elle est aussi rapidement diffusée sur radio et Télévision. L'intensité est calculée par rapport aux valeurs historiques et reflète les valeurs maximales d'accélération et de vitesse. Une carte type est présentée en Fig. 2 ci-dessous.

L'Institut National de recherche pour la prévention des désastres et les sciences de la terre possède quatre réseaux solides de mesure des secousses.

- a) K-NET est un réseau de sismographes installés approximativement en 1 000 endroits à travers le pays, capable de ressentir et d'enregistrer les fortes secousses sismiques.
- b) Hi-Net est un réseau de 700 stations, capables de détecter de très faibles secousses, non ressenties par l'homme. Les sismographes sont installés dans des forages de 100 m de profondeur pour éviter l'influence des bruits de surface.
- c) Deux sismographes de fortes intensités sont aussi installés sous les sites du réseau Hi-net pour former le système KIK-net.
- d) Le réseau F-net est composé de plus de 70 stations à travers le pays et est capable de détecter les secousses (des très faibles aux très grandes intensités) pour diffusion dans de larges bandes de fréquences.



By assigning numerical values to the individual factors and combining the factors (e.g. product of all three) an overall priority score is derived. For all dams that have experienced a MMI of 4 or greater, a priority score is determined and sorted in descending order to establish a recommended prioritized inspection program.

The priorities can be grouped into various categories with different responses assigned to each category. One current system has adapted the following response categories:

Response Level	Likely Impact*	Response Required
A	Less than MMI 4	Inspect dam at next routine inspection
B	MMI 4	Inspect dam within 18 hours
C	MMI 5	Inspect dam within 6 hours
D	MMI 6	Inspect dam immediately
E	MMI 7 or greater	Inspect dam immediately

\* The above table has been simplified and is based on factor 1 only, i.e. the intensity experienced at the dam.

An earthquake report is generated (automatically) and can be faxed, emailed, SMS messaged or verbally communicated by phone to all required recipients.

The report would typically provide the following information:

- Earthquake details (time, location, magnitude, etc.).
- General earthquake impacts expected (i.e. estimated intensities at varying radii from the epicenter).
- Inspection resources required on priority basis.

A typical earthquake report is included in Appendix 3. Different reports can be produced, or the report can be sub-divided according to the different operational areas that may exist within an organisation.

The report recommendations provide intelligence that can be used in conjunction with other site-specific data and knowledge to implement a rapid, effective and cost efficient earthquake response inspection program for a group of dams, particularly where dams are not usually manned 24 hours per day, 7 days per week.

## Japan

Two agencies play a role in Japan in publishing maps of ground shaking.

The Japan Meteorological Agency (JMA) usually within a few minutes reports on the seismic intensity of the earthquake for severely shaken areas. A map is reported immediately after the event on the website. It is also promptly broadcasted on TV and radio. The intensity scale is calculated from the time histories recorded of earthquake motions and reflects the peak values of velocity and acceleration. A typical map is shown in Fig. 2 below.

The National Research Institute for Disaster Prevention and Earth Science has four different strong motion networks established:

- a) K-NET is a network of seismographs, installed at approximately 1,000 locations nationwide, capable of capturing and recording strong and damaging seismic motions.
- b) Hi-Net has 700 stations nationwide, capable of detecting very weak ground motions unnoticed by humans. Seismometers are installed in a borehole at a depth of 100 m or more to avoid surface ground noise.
- c) Pairs of strong motion seismographs are also installed on and beneath the ground at Hi-Net sites to form the KiK-net system.
- d) F-Net is composed of more than 70 stations nationwide and is capable of detecting very weak to strong ground motions in broadband frequency range.

Les données des fortes secousses fournies par les trois réseaux ci-dessus ont été utilisées pour l'évaluation des risques de dommages dus aux séismes au Japon.

Si un séisme intervient, l'Institut publie les cartes contours de l'accélération maximale et de la vitesse maximale dans l'heure qui suit sur son site Internet.

Une organisation peut être mise en place de sorte que les propriétaires de barrages soient notifiés de l'intensité du séisme par téléphone. Cette notification, avec les mesures faites par les accéléromètres sur les sites, peut être utilisée pour la prise de décision pour l'inspection des barrages.

Normalement, l'exploitant du barrage devrait entreprendre une inspection du barrage dans les huit heures si l'accélération mesurée est supérieure à  $25 \text{ cm/s}^2$  ou excède la valeur de 4 sur l'échelle d'intensité de l'agence météorologique du Japon, ce qui équivaut à 6 sur l'échelle de Mercalli modifiée. Une inspection initiale et une secondaire sont conduites avec les résultats préliminaires transmis à l'office central respectivement en 3 heures et 24 heures. Au cas où l'accélération mesurée serait inférieure  $80 \text{ cm/s}^2$ , la valeur sur l'échelle d'intensité de l'agence météorologique du Japon est inférieure ou égale à 4 et s'il aucun dégât n'a été noté à la première inspection, il n'y a pas de seconde inspection.

En août 2006, un nouveau service (Centre de Conseil d'urgence en cas de séisme) a été créé comme un centre qui enregistre les secousses sismiques dans les environs de l'épicentre et les rapportent aux services chargés de la prévention des désastres, de l'organisation des transports et autres avant l'arrivée de l'onde sismique. On espère que ce système réduira les dégâts dus aux séismes dans le futur.

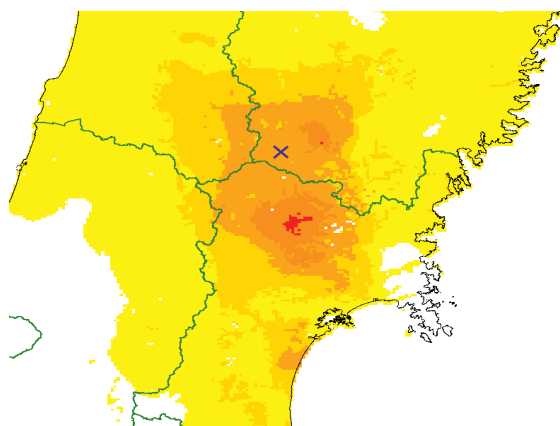
Strong motion data from the first three networks above have been used to evaluate the risk of earthquake damage on Japan islands.

If an earthquake has occurred, the Institute posts Peak ground acceleration (PGA) and peak ground velocity (PGV) contour maps within an hour on their website.

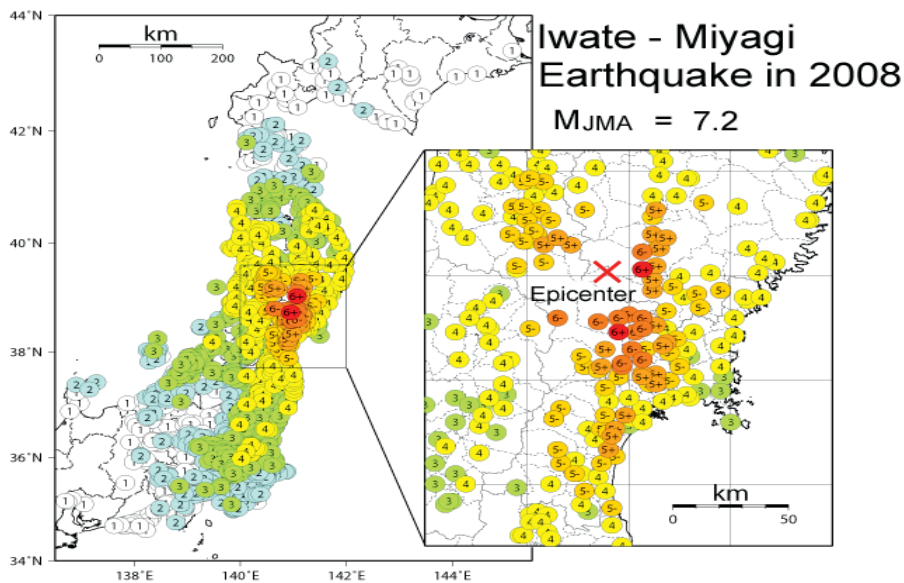
Arrangements can be made with individual owners for notice of seismic intensities to be provided over mobile/cellular phones. Such notification, together with measured data from accelerometers installed in most dams can be used in decision making regarding implementing dam inspections.

The dam operator would normally be required to inspect dams within 8 hours if the PGA is greater than  $25 \text{ cm/s}^2$  or exceeds a value of 4 on the JMA Intensity Scale, which is equivalent to a MMI of 6. A primary (initial) and secondary inspection are carried out with the primary results reported to the Supervisory Office within 3 hours and the secondary results within 24 hours. In the case of the PGA being less than  $80 \text{ cm/s}^2$ , the JMA intensity is less than or equal to 4 and if no damage is detected in the primary inspection, no secondary inspection is required.

In August 2006 commenced a new service "Emergency Earthquake Advisory" as a trial that records tremors at sites in the vicinity of the epicenter and reports it to agencies in charge of disaster prevention, traffic organizations and others before the arrival of the seismic wave. This system is expected to reduce the earthquake damage in the future.



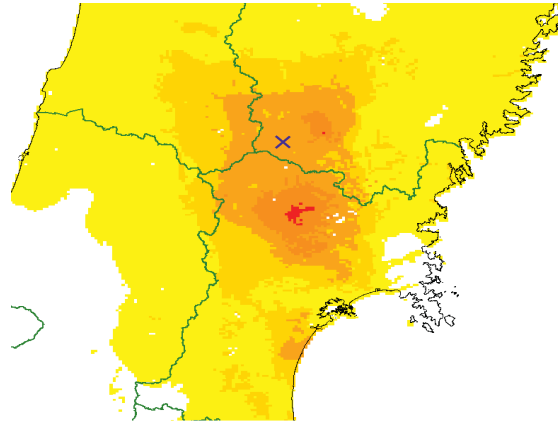
Iwate - Miyagi Earthquake in 2008  
MJMA = 7.2



Iwate - Miyagi  
Earthquake in 2008  
MJMA = 7.2

Fig. 2

Exemple d'intensités de l'agence météorologique du Japon après le séisme de magnitude 7,2 de Iwate-Miyagi (14 juin 2008)



Iwate - Miyagi Earthquake in 2008  
MJMA = 7.2

Seismic intensity 4 5high 6high  
Slow Slow 7

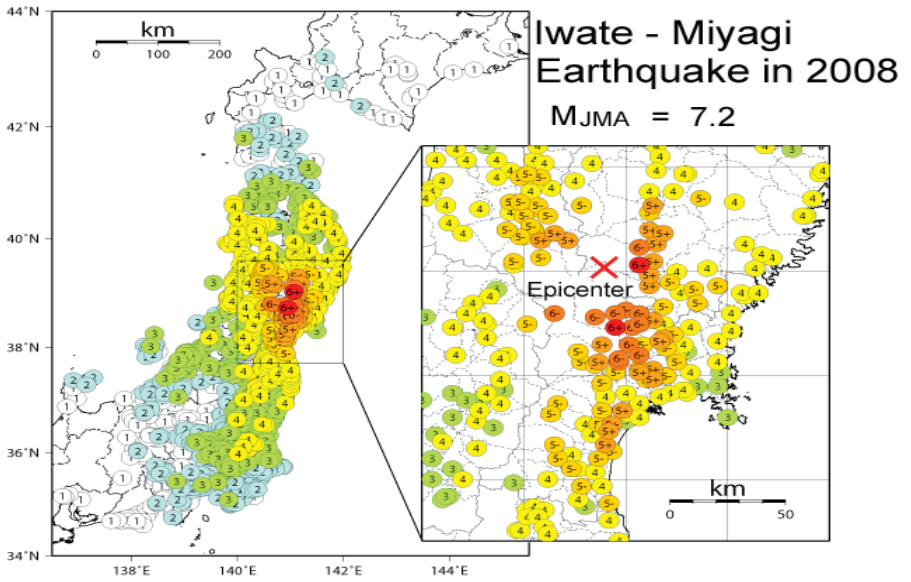


Fig. 2  
Example of JMA intensities following the magnitude 7.2 Iwate-Miyagi earthquake in Japan (June 14, 2008)

---

## ANNEXE 3

### RAPPORT D'ALERTE EN CAS DE SEISME

---

Date : MM-JJ-AAAA

Heure :

Longitude :

Latitude :

Profondeur :

Magnitude :

#### Caractéristiques générales

- L'intensité à l'épicentre devrait être de 5 environ sur l'échelle modifiée de Mercalli.
- Intensités supérieures à 4 sur l'échelle modifiée de Mercalli avec un séisme ressenti par la plupart des personnes à une distance de 30 km.
- Intensités supérieures à 2 sur l'échelle modifiée de Mercalli avec un séisme ressenti par quelques personnes à une distance de 120 km.
- Faible probabilité de dégâts [ville ou place] (14 km, EMM 5).
  - Certaines personnes endormies se réveillent, les objets suspendus balancent.
- Très faible probabilité de dégâts [ville ou place] (48 km, EMM 3).
  - Vibrations ressenties mais pas reconnues premièrement comme un séisme.

#### Caractéristiques spécifiques

- Barrage de XXXXX (16 km, EMM 5).
  - Dégâts peu probables aux ouvrages bien construits.
- Barrage de XXXXX (31 km, EMM 4).
  - Probabilité de dégâts très faible.

#### Tâches par ordre de priorité

- Contacter XXXX au [numéro de téléphone] pour leur demander de mettre en œuvre la réponse aux séismes de niveau C (inspection du barrage dans les six heures) au barrage XXXXX.
- Contacter XXXX au [numéro de téléphone] pour leur dire qu'il n'y a pas d'action immédiate à entreprendre et de mettre en œuvre la réponse aux séismes de niveau A (inspection du barrage à la prochaine inspection de routine) au barrage XXXXX.
- Téléphoner à XXXXX [numéro de téléphone] pour l'informer que les notifications ci-dessus ont été faites.

Aucune autre tâche n'est prescrite.

*Note: Les caractéristiques et tâches données par ce programme dépendent des fonctions d'atténuation choisis, et de l'importance, de la vulnérabilité et des priorités assignées par l'utilisateur.*

*À défaut de spécifications précises, ce programme ne considère pas l'amplification au site due aux sédiments et à la topographie. Notez que l'épicentre, la profondeur et la magnitude établis préliminairement peuvent comporter des erreurs qui affectent les résultats attendus.*

---

## APPENDIX 3 EARTHQUAKE ALARM REPORT

---

Date: YYYY-MM-DD

Time:

Longitude:

Latitude:

Depth:

Magnitude:

### General Outcomes

- The intensity at the epicentre would be about MMI 5.
- Intensities exceeding MMI 4 with the earthquake being strongly felt by most people can be expected to a distance of 30 km.
- Intensities exceeding MMI 2 and the possibility that the earthquake will be felt by some people can be expected to a distance of 120 km.
- Possibility of damage very low at [town or place] (14 km, EMM 5).
  - Sleeping people wakened, hanging objects swing.
- Damage highly unlikely at [town or place] (48 km, EMM 3).
  - Vibrations felt but may not be recognised as an earthquake at first.

### Specific Outcomes

- XXXXX Dam (16 km, MMI 5).
  - Damage to well-built structures unlikely.
- XXXXX Dam (31 km, MMI 4).
  - Probability of damage extremely low.

### Tasks in Priority Order

- Contact XXXX on [contact number] to tell them to perform seismic response level C (inspect within six hours) at XXXXX Dam.
- Contact XXXX on [contact number] to tell them no immediate action is necessary and to perform seismic response level A (inspect at next routine inspection) at XXXXX Dam.
- Telephone XXXXX on [contact number] to advise that the above notifications have been made.

No other tasks prescribed.

*Note: The Outcomes and Tasks provided by this program depend on the attenuation function selected, and the Importance, Vulnerability and Priorities assigned by the user.*

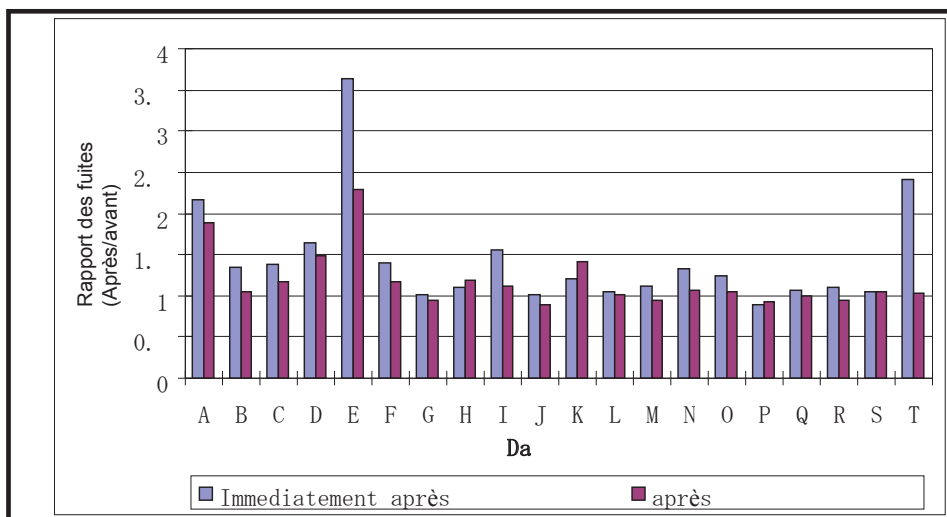
*Unless specifically provided, this program does not consider site amplification by soft sediments or topography. Note that a preliminary earthquake epicentre, depth and magnitude may have errors which affect expected outcomes.*

## ANNEXE 4

### EFFETS DES SÉISMES SUR LES FUITES ET LES SOUS-PRESSIONS

Les séismes peuvent affecter les fuites et les pressions dans le barrage ou sa fondation pendant ou après l'événement. Cela peut être constaté ou vécu à de très longues distances du séisme.

Les Fig. 3 et 4 présentent les variations à court terme des fuites dans le corps ou la fondation de 20 barrages au Japon. Le rapport entre les fuites après et avant le séisme est représenté pour 7 barrages en béton, 8 barrages en enrochement et 5 barrages en remblai. Des 20 barrages, on a noté une augmentation des fuites dans 19 cas. L'augmentation était supérieure à 20 % pour 11 barrages. 17 des 19 barrages qui ont présenté des augmentations des fuites, présentent des baisses de ces fuites au bout de 15 jours. A 11 des 20 barrages le taux de baisse au bout de 15 jours était de 0,9 à 1,1. A 4 barrages, le taux était de 1,2. Le plus grand ratio a été constaté à un barrage-poids où les fuites sont passées de 11 l/mn à 39 l/mn. Les fuites se produisaient à travers des joints de construction, des joints transversaux et de drains en fondation. Les fuites maximales ont été observées au barrage « M » où elles sont passées de 404 à 452 l/mn immédiatement après le séisme avant de baisser à 381 l/mn 14 jours après le séisme.



Note: "immédiatement après séisme" signifie dans les deux jours après. « après séisme » signifie de quelques jours à la quinzaine après l'événement.

Fig. 3  
Variations des fuites provoquées par des séismes au Japon



---

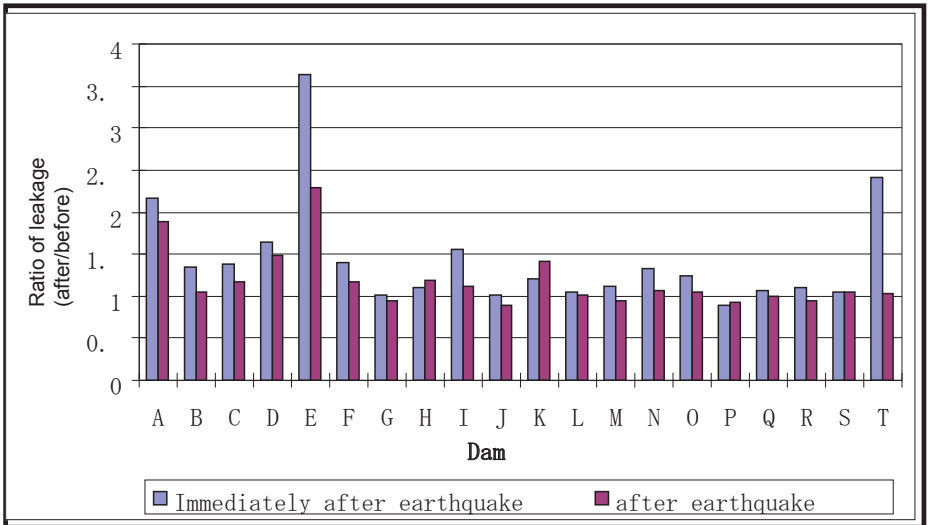
## APPENDIX 4

### EFFECTS OF EARTHQUAKES ON LEAKAGE AND UPLIFT PRESSURES

---

Earthquakes often affect the leakage and pore pressures within the dam body or foundation during and after the event. Such effects can be experienced at very long distances from large earthquakes.

Fig. 3 and 4 show the short-term variation of leakage in the body or foundation of twenty dams in Japan. The ratio of leakage after and before the earthquake is plotted for seven concrete gravity, eight rockfill, and five earthfill dams. Of the 20 dams, an increase in leakage was observed at 19 dams. The increase was more than 20% at 11 dams. 17 of the 19 dams with increased leakage showed that the increase of leakage decreased within a fortnight. At 11 of the 20 dams the ratio a fortnight after the event was in the range 0.9 to 1.1. At 4 dams the ratio was greater than 1.2. The greatest ratio was experienced at a concrete gravity dam where the leakage increased from a small value of 11 l/min to 39 l/min. The leakage occurred through construction joints, transverse joints, and foundation drain holes. The maximum leakage was observed at Dam 'M' which increased from 404 to 452 l/min immediately after the earthquake and reduced to 381 l/min 14 days after the earthquake.



Note: 'Immediately after earthquake' means within two days. 'After earthquake' means from several days to a fortnight after the earthquake.

Fig. 3  
Earthquake induced variations in leakage of dams in Japan

Tableau 1  
Type de barrage et magnitude des séismes inclus dans la Fig. 3

Barrage	Type	Séisme (Magnitude)	Ref
A	TE	Séisme de Niigata le 23 octobre 2004 (M6,8)	1
B	TE	"	
C	ER	Séisme de Tokachi le 26 septembre 2003 (M8,0)	2
D	PG	"	
E	PG	"	
F	ER	"	
G	PG ER	Séisme de Miyagi le 26 mai 2003 (M7,1)	3
H	PG ER	"	
I	ER	"	
J	ER	"	
K	ER	"	
L	ER	Séisme de de Sanriku-haruka le 28 décembre 1994 (M7,5)	4
M	ER	"	
N	PG	"	
O	PG	Séisme de Hokkaido Sud-Ouest le 12 juillet 1993 (M7,8)	5
P	TE	"	
Q	TE	"	
R	TE	"	
S	ER	"	
T	TE	Séisme de Chiba Est le 17 décembre 1987 (M6,7)	6

#### Références

1. National Institute for Land and infrastructure Management Rapport sur le séisme de Niigata, 2006.
2. National Institute for Land and infrastructure Management Rapport sur le séisme de Tokachi, 2004.
3. National Institute for Land and infrastructure Management Rapport sur le séisme de Miyagi, 2003.
4. Nakamura et al.: Engineering for Dams No.106, 1995.
5. Nakamura et al.: Engineering for Dams No.95, 1993.
6. Matsumoto et al.: Engineering for Dams No.25, 1988.

La Fig. 4 présente la variation à long terme des fuites au barrage de Kamafusa qui a été soumis au séisme de Miyagi (M = 7,4) en 1978. Les fuites dans les drains de la fondation, des joints de construction et des joints transversaux ont augmenté après l'événement. Les fuites de la fondation ont diminué pendant quelques mois après mais ne sont pas revenues aux valeurs avant le séisme. Toutefois, les fuites à travers les joints se sont presque annulées.

La Fig. 5 présente la relation entre le niveau d'eau du réservoir et la pression interstitielle dans la fondation du barrage de Hitokura qui a subi le séisme de Kobé (M = 7,3) en 1994. L'accélération maximale dans la galerie de fond et à la crête du barrage était respectivement de 0,19 et 0,49g. Les niveaux piézométriques ont augmenté de 5 m après l'événement et il a fallu plus de deux ans pour qu'ils reviennent aux valeurs avant le séisme.

Ces cas étudiés montrent que la secousse sismique peut entraîner des changements des niveaux de fuites et de pressions interstitielles. Généralement, ils augmentent après le séisme. Toutefois dans la plupart des cas, l'augmentation est temporaire et est suivie d'une baisse et de la stabilité dans le temps. Il peut se passer plusieurs jours à quelques années pour que les conditions de stabilité soient atteintes.

Table 1  
Dam type and magnitude of earthquakes included in Fig. 3

Dam	Type	Earthquake (Magnitude)	Ref
A	TE	Niigata Earthquake of Oct 23, 2004 (M6.8)	1
B	TE	"	
C	ER	Tokachi Earthquake of Sep 26, 2003 (M8.0)	2
D	PG	"	
E	PG	"	
F	ER	"	
G	PG ER	Miyagi Earthquake of May 26, 2003 (M7.1)	3
H	PG ER	"	
I	ER	"	
J	ER	"	
K	ER	"	
L	ER	Sanriku-haruka Earthquake of Dec 28, 1994 (M7.5)	4
M	ER	"	
N	PG	"	
O	PG	Southwest Hokkaido Earthquake of July 12, 1993 (M7.8)	5
P	TE	"	
Q	TE	"	
R	TE	"	
S	ER	"	
T	TE	East Chiba Earthquake of Dec 17, 1987 (M6.7)	6

References

1. National Institute for Land and infrastructure Management Report on Niigata Earthquake, 2006.
2. National Institute for Land and infrastructure Management Report on Tokachi Earthquake, 2004.
3. National Institute for Land and infrastructure Management Report on Miyagi Earthquake, 2003.
4. Nakamura et al.: Engineering for Dams No.106, 1995.
5. Nakamura et al.: Engineering for Dams No.95, 1993.
6. Matsumoto et al.: Engineering for Dams No.25, 1988.

Fig. 4 shows the long-term variation of leakage in Kamafusa dam, which was subjected to the 1978 Miyagi earthquake (M=7.4). Both the leakage from the foundation drain holes, construction joints, and transverse joints increased after the event. The leakage from the foundation decreased within a few months but did not return to the before earthquake leakage rate. However, the leakage from the joints returned to almost nil.

Fig. 5 indicates the relationship between water level and pore pressure in the foundation of Hitokura dam, which was shaken by the 1995 Kobe earthquake (M=7.3). The peak acceleration in the bottom gallery and at dam crest was 0.19 and 0.49 g, respectively. The pore pressure level increased by 5 m after the event and it took more than 2 years to return to the before earthquake value.

These case studies show that leakage and pore pressures often change as a result of ground shaking. Usually they increase after an earthquake. However, in most cases the increase is only temporary and will decrease or become stable over time. It may last from several days to a few years until a stable condition is reached.

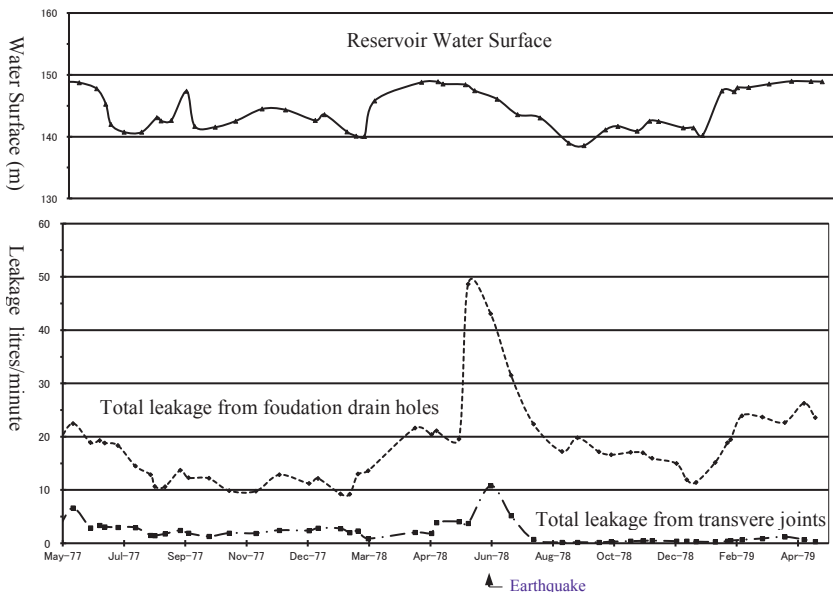


Fig. 4

Variation des fuites au barrage de Kama fusa avant et après le séisme de Miyagi (réf. Matsumoto et al, "Miyagi Earthquake of 1978", PWRI Report No 159, 1983)

Reservoir Water Surface  
 Total leakage from foudation drain holes  
 Total leakage from transvere joints  
 Earthquake  
 Water surface (m)  
 Leakage litres/minute

Niveau du réservoir  
 Fuites totales des drains de la fondation  
 Fuites totales des joints transversaux  
 Séisme  
 Niveau du réservoir (m)  
 Fuite litres/minute

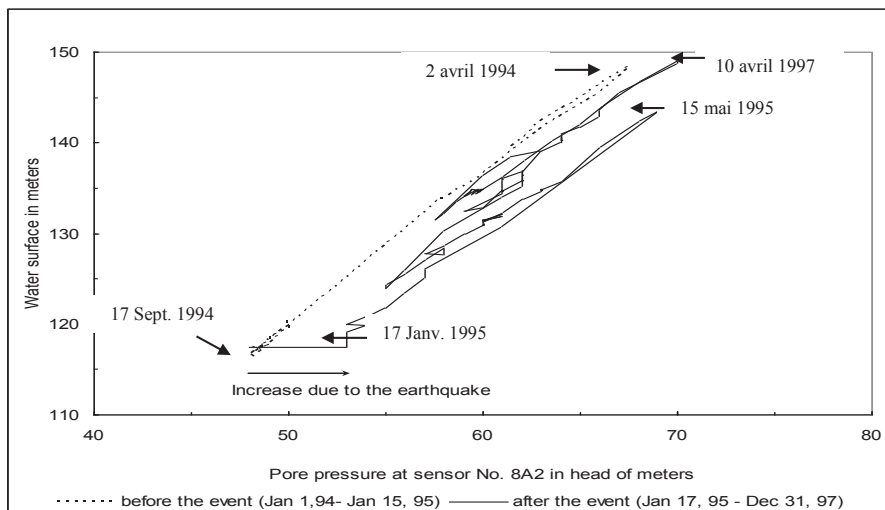


Fig. 5

Variation de la pression interstitielle au barrage de Hitokura due au séisme de Kobé en 1995

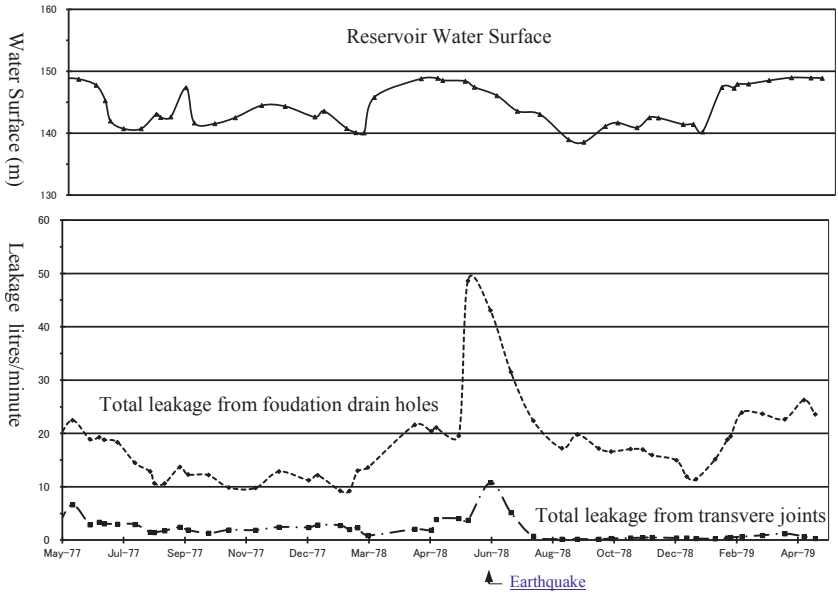


Fig. 4  
 Variation of leakage in Kamafusa dam before and after the Miyagi earthquake  
 (Ref. Matsumoto et al., "Miyagi Earthquake of 1978", PWRI Report No 159, 1983)

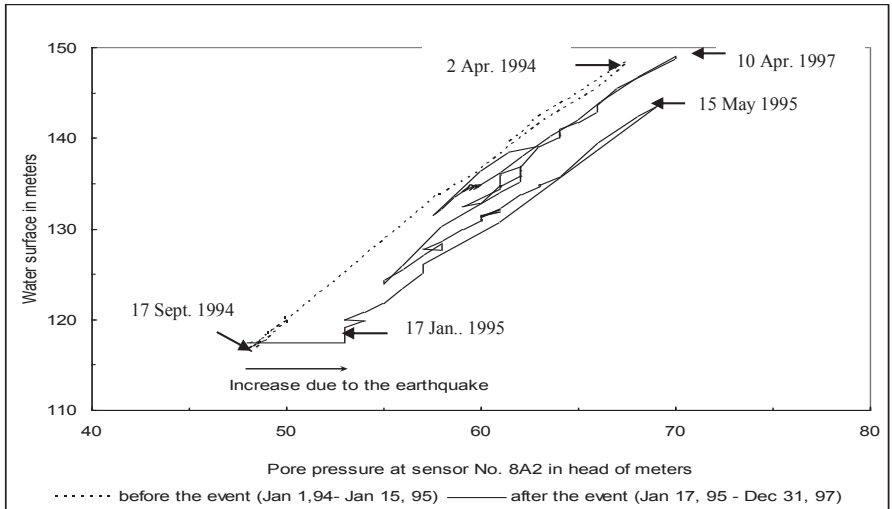


Fig. 5  
 Variation of pore pressure in Hitokura dam due to the 1995 Kobe earthquake

---

## ANNEXE 5 RÉFÉRENCES

---

- HINKS, JL AND GOSSCHALK, EM (1993). *Dams and Earthquakes – A review*. Dam Engineering, Vol IV, Issue 1, 9-26.
- ICOLD (1983). *Deterioration of dams and reservoirs, examples and their analysis*. International Commission on Large Dams.
- ICOLD (1986). *Earthquake Analysis Procedures for Dams – State of the Art*. International Commission on Large Dams, Bulletin 52.
- ICOLD (1999). *Seismic Observation of Dams*; International Commission on Large Dams, Bulletin 113.
- NSWDSC (1993). *Interim Requirements for Seismic Assessment of Dams*. New South Wales Dams Safety Committee Information Sheet DSC16.
- SEED, HB (1979). *Consideration in the earthquake resistant design of earth and rockfill dams*. Geotechnique 29, 215-263.
- USCOLD (1984). *Guidelines for Inspection of Dams Following Earthquakes*.
- USCOLD (1992). *Observed performance of dams during earthquakes*.
- USCOLD (2003). *Guidelines for Inspection of Dams after Earthquakes*.
- WIELAND, M (2003). *Seismic Aspects of Dams*, General Report, Question 83, ICOLD Congress, Montreal Canada.

---

## APPENDIX 5 REFERENCES

---

- HINKS, JL AND GOSSCHALK, EM (1993). *Dams and Earthquakes – A review*. Dam Engineering, Vol IV, Issue 1, 9-26.
- ICOLD (1983). *Deterioration of dams and reservoirs, examples and their analysis*. International Commission on Large Dams.
- ICOLD (1986). *Earthquake Analysis Procedures for Dams – State of the Art*. International Commission on Large Dams, Bulletin 52.
- ICOLD (1999). *Seismic Observation of Dams*; International Commission on Large Dams, Bulletin 113.
- NSWDSC (1993). *Interim Requirements for Seismic Assessment of Dams*. New South Wales Dams Safety Committee Information Sheet DSC16.
- SEED, HB (1979). *Consideration in the earthquake resistant design of earth and rockfill dams*. Geotechnique 29, 215-263.
- USCOLD (1984). *Guidelines for Inspection of Dams Following Earthquakes*.
- USCOLD (1992). *Observed performance of dams during earthquakes*.
- USCOLD (2003). *Guidelines for Inspection of Dams after Earthquakes*.
- WIELAND, M (2003). *Seismic Aspects of Dams*, General Report, Question 83, ICOLD Congress, Montreal Canada.

---

## ANNEXE 6 FICHES D'INSPECTION

---

### Généralités

- Faire une description complète de toutes les observations en utilisant les termes et croquis appropriés.
- Répondre à toutes les rubriques en indiquant « sans objet » le cas échéant.
- Si aucun incident n'est à signaler, noter ce fait sous la rubrique correspondante.
- Indiquer si l'observation n'a pas été faite ou était impossible.
- Les fiches d'inspection ci-dessous devront être modifiées pour chaque barrage en fonction des mises à jour des plans, des spécifications et des rapports sur l'ouvrage ; elles devront aussi être discutées avec les exploitants.

### 6.1. FICHE D'INSPECTION POUR TOUT BARRAGE

		Barrage de
Date de l'inspection		Heure
Conditions d'exploitation lors de la visite		
Niveau de la retenue		
Lâchures		
Météorologie		
Volume stocké		
Augmentation du niveau de la retenue pendant le séisme		
Équipe d'inspection		
Description du séisme ressenti sur le site (voir échelle Mercalli)		



---

## APPENDIX 6 INSPECTION CHECKLISTS

---

### General Notes

- Fully describe all observations using words and sketches as appropriate.
- If an item is not applicable, so indicate.
- Record the fact if nothing is found to be wrong or damaged.
- State if inspection was not done, or not possible to do.
- The following inspection checklists should be modified for actual dams by reviewing plans, specifications and reports on the dams; inspecting the dams and discussing them with their operators.

### 6.1. INSPECTION CHECKLIST FOR ALL DAMS

		Dam
Date of Inspection	Time	
Operational Status at Time of Inspection		
Reservoir water surface elevation		
Releases		
Weather conditions		
Water in storage		
Reservoir rise during earthquake		
Inspection Team		
Description of earthquake as felt at site (refer to Mercalli Scale)		

## 6.2. FICHE D'INSPECTION POUR BARRAGE EN REMBLAI

<b>BARRAGE</b>	
Talus amont	
Glissements	
Érosion - brèches	
Fissures	
Trous d'effondrement	
Tassements	
Déplacement	
Revêtement de protection	
Débris	
Conditions inhabituelles	
Crête	
Fissures de surface	
Tassements	
Mouvements latéraux	
Cambrure	
Parapets, trottoirs, garde-fous	
Déformation	
Mouvements latéraux	
Fissures	
Talus aval	
Érosion - brèches	
Fissures	
Trous d'effondrement	
Glissements	
Tassements	
Déplacement	
Conditions inhabituelles	
Aval du barrage	
Sols bouillants	
Résurgences	
Trous d'effondrement	
Appuis	
Fissures, joints ouverts	
Érosion	
Trous d'effondrement	
Glissements	
Conditions inhabituelles	
Drainage/Inspection galeries d'accès	
Lumière, ventilation	
Débit total des drains	
Débit de chaque drain	
Fissures	
Percolation	
Ouverture, éclatement et décrochement de joints	
Chute de blocs	

## 6.2. INSPECTION CHECKLIST FOR EMBANKMENT DAM

<b>DAM</b>	
Upstream Face	
Slide movements	
Erosion - breaching	
Cracks	
Sinkholes	
Settlement	
Displacement	
Slope protection	
Debris	
Unusual conditions	
Crest	
Surface cracking	
Settlement	
Lateral movement (alignment)	
Camber	
Parapets, Kerbs, Railings	
Deformation	
Lateral Movement (alignment)	
Cracking	
Downstream Face	
Erosion – breaching	
Cracking	
Sinkholes	
Slide movements	
Settlement	
Displacement	
Unusual conditions	
Downstream of the dam	
Boils	
Springs	
Sinkholes	
Abutments	
Cracks, open joints	
Erosion	
Sinkholes	
Slide movements	
Unusual conditions	
Drainage/Inspection Adits	
Lighting, ventilation	
Total drain flow	
Individual drain flows	
Cracks	
Seepage	
Joint offsets, openings, spalling	
Rockfalls	

Percolation, drains de pied, galeries, galeries d'accès, puits de décharge	
Situation	
Débits mesurés	
Variation du débit	
Clarté	
Couleur	
Particules solides fines	
Méthodes de mesure des débits	
État des appareils de mesure	
Résultats enregistrés	
Instruments d'auscultation	
Piézomètres	
Repères de tassement (superficiel)	
Dispositif de mesure des déformations internes	
Inclinomètres	
Mesure du niveau du réservoir	
Sismographes	
Faits particuliers	

Seepage, Toe Drains, Galleries, Adits, Relief Drains	
Locations	
Estimated flow(s)	
Change in flow	
Clearness	
Colour	
Fines	
Methods of flow measurements	
Condition of measuring devices	
Records	
Performance Instruments	
Piezometers	
Surface settlement points	
Internal movement devices	
Inclinometers	
Reservoir level gage	
Seismic instruments	
Special Items	

<b>ÉVACUATEUR DE CRUES</b>	
Entonnement	
Débris	
Glissements au-dessus de chenal	
Stabilité des parois	
Protection des talus	
Drôme (pour débris flottants)	
Ouvrage de contrôle	
Glissement au-dessus des structures	
Débris	
Vannes	
Observation du fonctionnement	
Alignement	
Ancrages	
État général	
Treuils et système de manutention	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
Contrôles	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
Alimentation en énergie	
Principale	
Secours	
Crête	
Fissures ou autres détériorations	
Traces de mouvement	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Pont	
Conditions et alignement des piles	
Structure des poutres et du tablier	
Condition et alignement des appuis	
Treuils	

<b>SPILLWAY</b>	
Approach Channel	
Debris	
Slides above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Log boom	
Control Structure	
Slide above structures	
Debris	
Gates	
Observed operation	
Alignment	
Anchorages	
General condition	
Hoists or operating stems	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorages	
General condition	
Controls	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorages	
General condition	
Power Supply	
Primary	
Emergency	
Crest	
Cracks or areas of distress	
Signs of movement	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Apron	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Bridge	
Pier alignment and condition	
Structural condition of slab and beams	
Bearings alignment and condition	
Cranes	

Observation du fonctionnement	
État général	
Distorsion de la structure	
Ancrages	
Coursier	
Débris	
Glissements au-dessus du coursier	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Galerie de drainage	
Ventilation, éclairage	
Défaut d'alignement	
Éclatement ou ouverture de joint	
Fissures	
Drains	
Débit	
Emplacement des drains débitant	
Bassin de dissipation	
Débris	
Glissements au-dessus du bassin	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier (si visible)	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Érosion	
Débris	
Érosion	
Glissements au-dessus du chenal	
Stabilité des parois	



Observed operation	
General condition	
Structural distortion	
Anchorage	
Chute	
Debris	
Slides above chute	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Drainage gallery	
Ventilation, lighting	
Misalignment	
Joint spalling or opening	
Cracking	
Drains	
Amounts of flow	
Locations of flowing drains	
Stilling Basin	
Debris	
Slides above basin	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor (if visible)	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Erosion	
Debris	
Erosion	
Slides above channel	
Side slope stability	

Protection des talus	
Végétation et autres obstructions	
Faits particuliers	

Slope protection	
Vegetation or other obstructions	
Special Items	

<b>OUVRAGES DE VIDANGE</b>	
Écoulement	
Turbidité	
Particules solides fines	
Entonnement (si visible)	
Débris	
Glissements au-dessus du chenal	
Stabilité des pentes	
Protection des talus	
Prise d'eau	
Glissements au-dessus de la structure	
Débris	
Grille à débris	
Conduit d'évacuation ou galerie	
Ventilation, éclairage	
Variation des percolations	
Ouverture de joints	
Éclatement de béton	
Coincement des aciers	
Chutes de blocs de rocher	
Vannes et structures de commande	
Observation du fonctionnement	
État général	
Traces de mouvement	
Ancrages	
Contrôles	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
État des organes de télécommande	
Alimentation en énergie	
Alimentation principale	
Alimentation de secours	
Treuils	
Observation du fonctionnement	
État général	
Distorsion de la structure	
Ancrages	
Batardeaux	
État général	
Étanchéités	
Coursier	
Débris	
Glissements au-dessus du coursier	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	

<b>OUTLET WORKS</b>	
Discharge	
Turbidity	
Solids	
Approach Channel (if visible)	
Debris	
Slides above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Intake Structure	
Slides above structure	
Debris	
Trash racks	
Conduit or Tunnel	
Ventilation, lighting	
Change in seepage	
Joint openings	
Concrete spalling	
Steel liner bulges	
Rockfalls	
Valves or Gates and their Operators	
Observed operation	
General condition	
Signs of movement	
Anchorage	
Controls	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorage	
General condition	
Remote operation functions	
Power Supply	
Primary	
Emergency	
Cranes	
Observed operation	
General condition	
Structural distortion	
Anchorage	
Bulkheads	
General condition	
Seals	
Chute	
Debris	
Slides above chute	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	

Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Bassin de dissipation	
Débris	
Glissements au-dessus du bassin	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier (si visible)	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Érosion	
Chenal de restitution	
Débris	
Érosion	
Glissements au-dessus du chenal	
Stabilité des parois	
Végétation ou autres obstructions	
Faits particuliers	

Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Stilling Basin	
Debris	
Slides above basin	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor (if visible)	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Erosion	
Outlet Channel	
Debris	
Slides above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Vegetation or other obstructions	
Special Items	

<b>RETENUE</b>	
Glissements de versants	
Désignation de chaque glissement	
Situation	
Caractéristiques	
Écoulements interrompus	
Drôme (débris flottants)	
Faits particuliers	

<b>ROUTES D'ACCÈS</b>	
Routes	
Obstructions	
État du revêtement	
Ponts	
Structure des poutres et du tablier	
État et alignement des appuis	
État et alignement des piles	
État des fondations	
Faits particuliers	



<b>RESERVOIR</b>	
Landslides	
Individual designations	
Locations	
Conditions	
Blocked inflows	
Log Boom	
Special Items	

<b>ACCESS ROADS</b>	
Roadways	
Obstructions	
Condition of pavement	
Bridges	
Structural condition of deck slabs and beams	
Bearings alignment and condition	
Pier alignments and condition	
Foundation conditions	
Special Items	

### 6.3. FICHE D'INSPECTION POUR BARRAGE EN BÉTON

<b>BARRAGE</b>	
Parement amont	
Fissures	
Décrochement, ouverture et éclatement de joints	
Crête	
Alignement des parois, bordures	
Fissures	
Décrochement, ouverture et éclatement de joints	
État du mur parapet	
Éclairage	
Parement aval	
Fissures	
Décrochement, ouverture et éclatement de joints	
Percolation	
Pied aval	
Suintement	
Affouillements	
Fissures, autres détériorations	
Aval du barrage	
Sols bouillants	
Résurgences	
Trous d'effondrement	
Galeries	
Éclairage, ventilation	
Écoulement total des drains	
Écoulement de chaque drain	
Fissures	
Percolation	
Décrochement, ouverture et éclatement de joints	
Appareils d'auscultation	
Piézomètres	
Bornes d'observation	
Pendules	
Limnimètre du réservoir	
Sismographes	
Faits particuliers	

### 6.3. INSPECTION CHECKLIST FOR CONCRETE DAM

<b>DAM</b>	
Upstream Face	
Cracks	
Joints, offsets, openings, spalling	
Crest	
Alignment of walls, edges	
Cracks	
Joints, offsets, openings, spalling	
Parapet wall condition	
Lighting	
Downstream Face	
Cracks	
Joint offsets, openings, spalling	
Seepage	
Downstream Toe	
Seepage	
Scour, undercutting	
Cracks, other distress	
Downstream of dam	
Boils	
Springs	
Sinkholes	
Galleries	
Lighting, ventilation	
Total drain flow	
Individual drain flows	
Cracks	
Seepage	
Joint offsets, openings, spalling	
Performance Instruments	
Piezometers	
Surface monuments	
Pendulums	
Reservoir level gage	
Sismographs	
Special Items	

<b>APPUIS</b>	
Écoulement des drains	
Glissements de terrain	
Percolation	
Situation des percolations	
Drainage/ inspection des tunnels	
Éclairage, ventilation	
Écoulement total drains / percolation	
Écoulement de chaque drain	
Fissures	
Percolation	
Décrochement, ouverture et éclatement de joints	
Chute de roches	
Appareils d'auscultation	
Piézomètres	
Bornes d'observation	
Extensomètres	
Faits particuliers	

<b>ABUTMENTS</b>	
Drain flows	
Landslides	
Seepage	
Seepage locations	
Drainage/inspection Tunnels	
Lighting, ventilation	
Total drain/seepage flow	
Individual drain flows	
Cracks	
Seepage	
Joint offsets, opening, spalling	
Rockfalls	
Performance Instruments	
Piezometers	
Surface monuments	
Extensionometers	
Special Items	

<b>ÉVACUATEUR DE CRUES</b>	
Entonnement	
Débris	
Glissements au-dessus de chenal	
Stabilité des parois	
Protection des talus	
Drôme (pour débris flottants)	
Ouvrage de contrôle	
Glissement au-dessus des structures	
Débris	
Vannes	
Observation du fonctionnement	
Alignement	
Ancrages	
État général	
Treuils et système de manutention	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
Contrôles	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
Alimentation en énergie	
Alimentation Principale	
Alimentation Secours	
Crête	
Fissures ou autres détériorations	
Traces de mouvements	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Pont	
État et alignement des piles	
Structure des poutres et du tablier	
État et alignement des appuis	
Treuils	

<b>SPILLWAY</b>	
Approach Channel	
Debris	
Slide above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Log boom	
Control Structure	
Slides above structures	
Debris	
Gates	
Observed operation	
Alignment	
Anchorages	
General Condition	
Hoists or operating stems	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorages	
General Condition	
Controls	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorages	
General Condition	
Power Supply	
Primary	
Emergency	
Crest	
Cracks or areas of distress	
Signs of movement	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Apron	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Bridge	
Pier alignment and condition	
Structural condition of slab and beams	
Bearings alignment and condition	
Cranes	

Observation du fonctionnement	
État général	
Distorsion de la structure	
Ancrages	
Coursier	
Débris	
Glissements au-dessus du coursier	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Galerie de drainage	
Ventilation, éclairage	
Défaut d'alignement	
Éclatement ou ouverture de joint	
Fissures	
Drains	
Débit	
Emplacement des drains débitant	
Bassin de dissipation	
Débris	
Glissements au-dessus du bassin	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier (si visible)	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Érosion	
Chenal de restitution	
Débris	
Érosion	
Glissements au-dessus du chenal	



Observed operation	
General Condition	
Structural distortion	
Anchorage	
Chute	
Debris	
Slides above chute	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Drainage gallery	
Ventilation, lighting	
Misalignment	
Joint spalling or opening	
Cracking	
Drains	
Amounts of flow	
Locations of flowing drains	
Stilling Basin	
Debris	
Slides above basin	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor (if visible)	
Movement (offsets)	
Cracks or areas of distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Erosion	
Outlet Channel	
Debris	
Erosion	
Slides above channel	

Stabilité des parois	
Protection des talus	
Végétation et autres obstructions	
Faits particuliers	

Side slope stability	
Slope protection	
Vegetation or other obstructions	
Special Items	

<b>OUVRAGES DE VIDANGE</b>	
Écoulement	
Turbidité	
Particules solides fines	
Entonnement (si visible)	
Débris	
Glissements au-dessus du chenal	
Stabilité des pentes	
Protection des talus	
Prise d'eau	
Glissements au-dessus de la structure	
Débris	
Grille à débris	
Conduit d'évacuation ou galerie	
Ventilation, éclairage	
Variation des fuites	
Ouverture de joints	
Éclatement de béton	
Coincement des aciers	
Chute de roches	
Vannes et structures de commande	
Observation du fonctionnement	
État général	
Traces de mouvement	
Ancrages	
Contrôles	
Observation du fonctionnement	
Traces de mouvement	
Ancrages	
État général	
État des organes de télécommande	
Alimentation en énergie	
Alimentation principale	
Alimentation de secours	
Treuils	
Observation du fonctionnement	
État général	
Distorsion de la structure	
Ancrages	
Batardeaux	
État général	
Étanchéités	
Coursier	
Débris	
Glissements au-dessus du coursier	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	

<b>OUTLET WORKS</b>	
Discharge	
Turbidity	
Solids	
Approach Channel (if visible)	
Debris	
Slides above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Intake Structure	
Slides above structure	
Debris	
Trash racks	
Conduit or Tunnel	
Ventilation, lighting	
Change in seepage	
Joint openings	
Concrete spalling	
Steel liner bulges	
Rockfalls	
Valves or Gates and their Operators	
Observed operation	
General condition	
Signs of movement	
Anchorages	
Controls	
Observed operation	
Signs of movement	
Anchorages	
General condition	
Remote operation functions	
Power Supply	
Primary	
Emergency	
Cranes	
Observed operation	
General condition	
Structural distortion	
Anchorages	
Bulkheads	
General condition	
Seals	
Chute	
Debris	
Slides above chute	
walls	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	

Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Bassin de dissipation	
Débris	
Glissements au-dessus du bassin	
Parois verticales	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Tassement de remblai	
Radier (si visible)	
Mouvements (décrochements)	
Fissures ou autres détériorations	
Tassements	
Éclatement ou ouverture de joint	
Drains	
Érosion	
Chenal de restitution	
Débris	
Érosion	
Glissements au-dessus du chenal	
Protection des pentes	
Végétation ou autres obstructions	
Faits particuliers	

<b>RETENUE</b>	
Glissements de versants	
Désignation de chaque glissement	
Situation	
Caractéristiques	
Écoulements interrompus	
Drôme (débris flottants)	
Faits particuliers	

Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Stilling Basin	
Debris	
Slides above basin	
Walls	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Backfill settlement	
Floor (if visible)	
Movement (offsets)	
Cracks, other distress	
Settlement	
Joint spalling or opening	
Drains	
Erosion	
Outlet Channel	
Debris	
Slides above channel	
Side slope stability	
Slope protection	
Vegetation or other obstructions	
Special Items	

<b>RESERVOIR</b>	
Landslides	
Individual designations	
Locations	
Conditions	
Blocked inflows	
Log Boom	
Special Items	

<b>ROUTES D'ACCÈS</b>	
Routes	
Obstructions	
État du revêtement	
Ponts	
État des poutres et du tablier	
État et alignement des appuis	
État et alignement des poutres	
État des fondations	
Faits particuliers	



<b>ACCESS ROADS</b>	
Roadways	
Obstructions	
Conditions of pavement	
Bridges	
Structural condition of deck slabs and beams	
Bearings alignment and condition	
Pier alignments and conditions	
Foundation conditions	
Special Items	

Achevé d'imprimer en avril 2016  
sur les presses de l'Imprimerie Offset Cinq Édition,  
85150 La Mothe-Achard

Dépôt légal 2<sup>ème</sup> trimestre 2016, avril 2016,  
N° d'impression : 2016030505  
ISSN 0534 - 8293  
*Imprimé en France*





---

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS  
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES  
61, avenue Kléber, 75116 Paris  
Téléphone : (33-1) 47 04 17 80 - Fax : (33-1) 53 75 18 22  
<http://www.icold-cigb.org/>