

# RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT

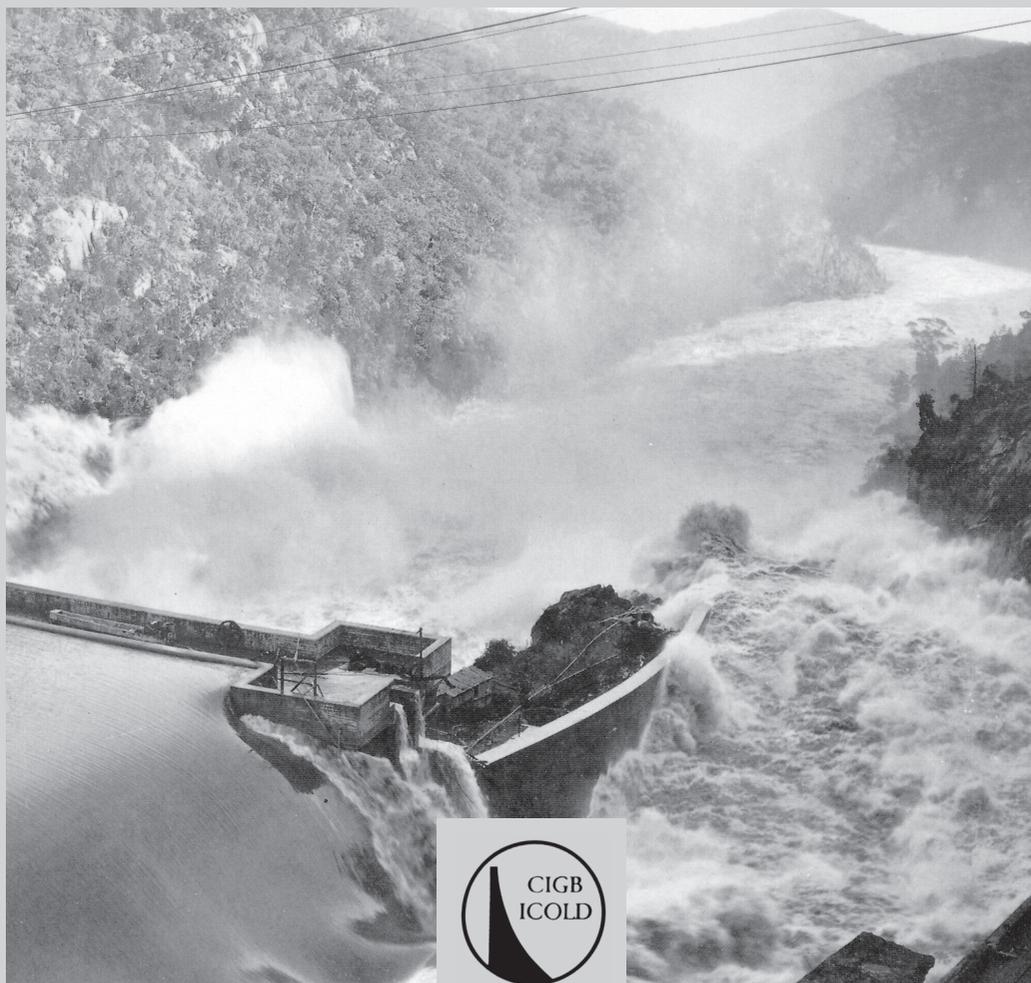
*A reconnaissance of benefits, methods and current applications*

## ÉVALUATION DU RISQUE DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ DU BARRAGE

*Examen des bénéfices, des méthodes et des dernières applications*

**Bulletin 130**

RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT  
ÉVALUATION DU RISQUE DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ DU BARRAGE



**2005**

Cover photograph :  
Burrinjuck Dam (Australia 1925)  
(Photo provided by the ICOLD Dam Safety Committee)

*Photo de couverture :*  
*Barrage Burrinjuck (Australie 1925)*  
*(Photo fournie par le Comité CIGB sur la Sécurité des Barrages)*

### **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 Adelinck – Revised by P. Le Delliou (France)

*Texte original en anglais*  
*Traduction en français par Adelinck – Revue par P. Le Delliou (France)*

# **RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT**

---

*A reconnaissance of benefits, methods and  
current applications*

# **ÉVALUATION DU RISQUE DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ DU BARRAGE**

---

*Examen des bénéfices, des méthodes et  
des dernières applications*

---

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

---

COMMITTEE ON DAM SAFETY  
COMITÉ DE LA SÉCURITÉ DES BARRAGES

*Chairman/Président*

Netherlands/Pays-Bas

A. HOEKSTRA

*Members/Membres*

Argentina/Argentine

F. GIULIANI

Australia/Australie

L.A. McDONALD

Austria/Autriche

E. NETZER

Brazil/Brésil

F. DE GENNARO CASTRO

Canada

P.A. ZIELINSKI

China/Chine

WEIMIN ZHANG

Czech Republic/République Tchèque

J. POLACEK

Finland/Finlande

P. REITER

France

P. LE DELLIU

Germany/Allemagne

H.U. SIEBER

India/Inde

N.B. DESAI

Iran

E. TOLOUIE

Italy/Italie

G. RUGGERI

Japan/Japon

J. KAMIMURA

Korea/Corée

HEUI-DAE LIM

Lesotho

B. RAFONEKE

Norway/Norvège

B. HONNINGSVAG

Pakistan

H. GOHAR

Portugal

A. SILVA GOMES

Russia/Russie

E.N. BELLENDIR

Serbia and Montenegro/Serbie et Monténégro

I. TUCOVIC

Spain/Espagne

J.C. DE CEA

Sweden/Suède

A. NILSSON

Switzerland/Suisse

R. LAFITTE

United Kingdom/Royaume-Uni

A. HUGHES

United States/États-Unis

C. TJOUMAS

Venezuela

N.R. CASTILLEJO

*Main authors of this Bulletin/Principaux auteurs de ce Bulletin*

Australia/Australie

L.A. McDONALD

Canada

D.N.D. HARTFORD

Netherlands/Pays-Bas

J.K. VRIJLING,  
J.W. VAN DER MEER

United States/États-Unis

D.S. BOWLES

---

## SOMMAIRE

---

AVANT-PROPOS

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION
2. PANORAMA DE  
L'ÉVALUATION DES RISQUES  
POUR LA GESTION DE LA  
SÛRETÉ DES BARRAGES
3. ÉVALUATION DES RISQUES –  
DESCRIPTION GÉNÉRALE  
DU PROCESSUS
4. APPLICATIONS ACTUELLES
5. TERMINOLOGIE
6. GLOSSAIRE
7. RÉFÉRENCES

ANNEXE A

---

## CONTENTS

---

FOREWORD

ACKNOWLEDGEMENT

SUMMARY

1. INTRODUCTION
2. OVERVIEW OF RISK  
ASSESSMENT IN DAM SAFETY  
MANAGEMENT
3. RISK ASSESSMENT – AN  
OUTLINE OF THE PROCESS
4. CURRENT APPLICATIONS
5. TERMINOLOGY
6. GLOSSARY
7. REFERENCES

APPENDIX A

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

|  |     |
|--|-----|
| AVANT-PROPOS .....   | 10  |
| REMERCIEMENTS .....  | 14  |
| RÉSUMÉ .....   | 16  |
| 1. INTRODUCTION .....  | 28  |
| 2. PANORAMA DE L'ÉVALUATION DES RISQUES<br>POUR LA GESTION DE LA SÛRETÉ DES BARRAGES .....                                   | 36  |
| 2.1. Historique .....  | 36  |
| 2.2. Prise en compte des risques associés à une rupture de barrage<br>et à la crue catastrophique associée .....             | 38  |
| 2.3. Qu'apporte l'évaluation des risques à l'ingénierie traditionnelle ? .....   | 40  |
| 2.4. Importance du contexte de décision pour l'évaluation des risques .....  | 48  |
| 3. ÉVALUATION DES RISQUES - DESCRIPTION GÉNÉRALE<br>DU PROCESSUS .....   | 52  |
| 3.1. Concepts et principes fondamentaux .....  | 52  |
| 3.2. Concepts et processus d'analyse des risques .....   | 54  |
| 3.2.1. Analyse des risques - vue générale .....  | 56  |
| 3.2.2. Systèmes, modèles et défaillances .....   | 60  |
| 3.2.3. Défaillance – modes, risques d'accident, mécanismes et effets ..  | 64  |
| 3.2.4. Méthodes d'analyse des risques – vue d'ensemble .....   | 68  |
| 3.2.5. Représentation du risque et présentation des résultats .....  | 86  |
| 3.3. Appréciation des risques – les principes .....  | 88  |
| 3.3.1. Introduction .....  | 88  |
| 3.3.2. Perception du risque .....  | 94  |
| 3.3.3. Principes de base des critères .....  | 98  |
| 3.3.4. Critères hybrides de tolérabilité des risques .....   | 100 |
| 3.3.5. Appréciation ALARP .....  | 104 |
| 3.3.6. Incertitude et principe de précaution .....   | 106 |
| 3.4. Contrôle et gestion des risques : Application de l'évaluation<br>des risques pour les recommandations de décision ..... | 108 |
| 3.4.1. Introduction .....  | 108 |

---

---

# TABLE OF CONTENTS

---

|   |     |
|---|-----|
| FOREWORD .....  | 11  |
| ACKNOWLEDGEMENT .....   | 15  |
| SUMMARY .....   | 17  |
| 1. INTRODUCTION .....   | 29  |
| 2. OVERVIEW OF RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY<br>MANAGEMENT .....                                      | 37  |
| 2.1. Historical Development of Dams .....   | 37  |
| 2.2. Addressing the Risks Associated with Dam-break and Flood .....                                   | 39  |
| 2.3. What Does Risk Assessment Add to Traditional Engineering? .....                                  | 41  |
| 2.4. The Importance of the Decision Context to Risk Assessment .....                                  | 49  |
| 3. RISK ASSESSMENT - AN OUTLINE OF THE PROCESS .....  | 53  |
| 3.1. Concepts and Fundamental Principles .....  | 53  |
| 3.2. Risk Analysis Concepts and Processes .....   | 55  |
| 3.2.1. Approaches to risk analysis – general overview .....   | 57  |
| 3.2.2. Systems, system models and system failures .....   | 61  |
| 3.2.3. Failure – modes, hazards, mechanisms and effects .....   | 65  |
| 3.2.4. Risk analysis methods – an overview .....  | 69  |
| 3.2.5. Representations of risk and presentation of results .....                                      | 87  |
| 3.3. Risk Evaluation – the Principles .....   | 89  |
| 3.3.1. Introduction .....   | 89  |
| 3.3.2. Perception of risk .....   | 95  |
| 3.3.3. Principles from which criteria are derived .....   | 99  |
| 3.3.4. Hybrid criteria for tolerability of risk .....   | 101 |
| 3.3.5. ALARP evaluation .....   | 105 |
| 3.3.6. Uncertainty and the precautionary principle .....  | 107 |
| 3.4. Risk Control and Management: Application of Risk Assessment<br>to Decision Recommendations ..... | 109 |
| 3.4.1. Introduction .....   | 109 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.4.2. Processus pour le développement de recommandations de décisions .....                  | 112        |
| 3.4.3. Aperçu général des options de décision en matière de sécurité des barrages .....       | 116        |
| 3.4.4. Rôles dans le processus de prise de décision .....                                     | 118        |
| 3.4.5. Recommandations de décision sur le niveau de sécurité pour un barrage individuel ..... | 118        |
| 3.4.6. Recommandations de décision pour la réduction des risques ...                          | 122        |
| 3.4.7. Maintenir un risque tolérable dans un programme de sécurité .                          | 122        |
| 3.4.8. Autres applications commerciales .....   | 124        |
| <b>4. APPLICATIONS ACTUELLES .....</b>  | <b>126</b> |
| 4.1. Contexte .....   | 126        |
| 4.2. Cadre de description des applications .....  | 128        |
| 4.3. Applications actuelles de l'évaluation des risques dans la gestion des risques .....     | 132        |
| 4.3.1. Analyse des risques .....  | 132        |
| 4.3.2. Appréciation des risques .....   | 142        |
| 4.3.3. Application de l'évaluation des risques pour les recommandations de décision .....     | 166        |
| 4.4. Références, législation et recherche .....   | 182        |
| 4.4.1. Guides et législation .....  | 182        |
| 4.4.2. Recherches en cours .....  | 204        |
| <b>5. TERMINOLOGIE .....</b>  | <b>218</b> |
| <b>6. GLOSSAIRE .....</b>   | <b>222</b> |
| <b>7. RÉFÉRENCES .....</b>  | <b>249</b> |
| 7.1. Références – Généralité .....  | 249        |
| 7.2. Références relatives à l'enquête sur les applications actuelles (Section 4) .....        | 252        |
| <b>ANNEXE A : LISTE D'ÉTUDES DE CAS .....</b>   | <b>268</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.2. Process for developing decision recommendations .....                          | 113 |
| 3.4.3. General scope of dam safety decision options .....                             | 117 |
| 3.4.4. Roles in decision-making process .....   | 119 |
| 3.4.5. Decision recommendations on the level of safety<br>for an individual dam ..... | 119 |
| 3.4.6. Decision recommendations on pathways to risk reduction .....                   | 123 |
| 3.4.7. Maintaining tolerable risk in a dam safety program .....                       | 123 |
| 3.4.8. Other business uses .....  | 125 |
| 4. CURRENT APPLICATIONS .....   | 127 |
| 4.1. Background .....   | 127 |
| 4.2. Framework for Description of Applications .....                                  | 129 |
| 4.3. Current Applications of Risk Assessment in Risk Management .....                 | 133 |
| 4.3.1. Risk analysis .....  | 133 |
| 4.3.2. Risk evaluation .....  | 143 |
| 4.3.3. Application of risk assessment to decision recommendations ..                  | 167 |
| 4.4. Guidelines, Legislation and Research .....                                       | 183 |
| 4.4.1. Guidelines and legislation .....   | 183 |
| 4.4.2. Research in progress .....   | 205 |
| 5. TERMINOLOGY .....  | 219 |
| 6. GLOSSARY .....   | 223 |
| 7. REFERENCES .....   | 249 |
| 7.1. References – General .....   | 249 |
| 7.2. References – Relating to the Survey of Current Applications<br>(Section 4) ..... | 252 |
| APPENDIX A : LIST OF CASE STUDIES .....   | 268 |

---

## LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

---

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Fig. 2.1.     | Logigramme pour la surveillance et l'intervention .....   | 44  |
| Fig. 3.1.     | Représentation du processus d'appréciation des risques .....  | 52  |
| Fig. 3.2.     | Exemple d'un modèle spatial du « Système concerné » .....   | 60  |
| Fig. 3.3.     | Exemple d'un modèle spatial de « barrage en remblai » .....   | 62  |
| Fig. 3.4.     | Exemple d'un modèle fonctionnel pour un système<br>comportant un bassin versant, un réservoir et un barrage .....   | 62  |
| Fig. 3.5.     | Défaillance – modes, risques d'accident, mécanismes et effets ..  | 64  |
| Fig. 3.6.     | Exemple d'une analyse quantitative hypothétique<br>par arbre d'événements hypothétique .....  | 72  |
| Fig. 3.7.     | Exemple d'un arbre de défaillances .....  | 74  |
| Fig. 3.8.     | Modèle de défaillance par glissement pour utilisation<br>dans une analyse de fiabilité .....  | 74  |
| Tableau 3.1.  | Exemple de fiche MADE (CSA, 1993) sur la base des données<br>de la Fig. 3.6. ....   | 78  |
| Fig. 3.9(a).  | Distribution des pics de débit entrant .....  | 82  |
| Fig. 3.9(b).  | Fiabilité des vannes .....  | 82  |
| Fig. 3.9(c).  | Répartition des pics d'élévation du réservoir .....   | 82  |
| Fig. 3.9(d).  | Propriétés des matériaux .....  | 82  |
| Fig. 3.9(e).  | Enveloppe contrainte-résistance .....   | 82  |
| Fig. 3.9(f).  | Répartition de la défaillance de glissement .....   | 82  |
| Fig. 3.10(a). | Représentation graphique de $f, N$ .....  | 88  |
| Fig. 3.10(b). | Représentation graphique de $F, N$ .....  | 88  |
| Fig. 3.11.    | Cadre HSE de tolérabilité des risques (Fig. 1 de HSE, 2001) ....  | 92  |
| Fig. 3.12.    | Risques personnels dans les pays occidentaux, déduits<br>des statistiques des causes de décès et du nombre de participants<br>par activité (Fig. 7, Vrijning, 2001) .....   | 102 |
| Tableau 3.2.  | Valeur du facteur d'orientation $\beta_1$ en fonction du volontariat<br>et du bénéfice (Tableau 2, Vrijning, 2001). Pour la sécurité<br>des digues (Pays-Bas) une valeur $\beta_1$ de 1,0 à 0,1 est appliquée. .. | 104 |
| Fig. 3.13.    | Procédure de traitement de l'incertitude lors de l'évaluation<br>des risques (Fig. 2. de HSE 2001) .....  | 106 |
| Fig. 3.14.    | Processus générique pouvant être appliqué pour obtenir des<br>principes et des critères de tolérabilité des risques (NRC, 1996)   | 110 |
| Fig. 3.15.    | Une stratégie d'aide à la décision pour la sécurité appliquée<br>au danger d'accidents majeurs .....  | 114 |
| Fig. 4.1.     | Amélioration de la sécurité des barrages dans l'état<br>de Washington, États-Unis .....   | 172 |

---

---

## LISTE OF FIGURES AND TABLES

---

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Fig. 2.1.     | Logic Diagram for Monitoring and Intervention .....  | 45  |
| Fig. 3.1.     | Diagrammatic Representation of the Risk Assessment Process .....   | 53  |
| Fig. 3.2.     | Example of a Spatial Model of the “System of Interest” .....   | 61  |
| Fig. 3.3.     | Example of a Spatial Model of a “Fill Dam” .....   | 63  |
| Fig. 3.4.     | Example of a Functional Model of a Watershed, Reservoir<br>and Dam System .....  | 63  |
| Fig. 3.5.     | Failure – Modes, Hazards, Mechanisms and Effects .....   | 65  |
| Fig. 3.6.     | Example of a Hypothetical Quantitative Event Tree Analysis ..  | 73  |
| Fig. 3.7.     | Example of a Fault Tree .....  | 75  |
| Fig. 3.8.     | Model of Sliding Failure for Use in a Reliability Analysis .....   | 75  |
| Table 3.1.    | Sample FMEA Worksheet (CSA, 1993)<br>with illustrative example data from Fig. 3.6. ....  | 79  |
| Fig. 3.9(a).  | Distribution of inflow peaks .....   | 83  |
| Fig. 3.9(b).  | Gate reliability .....   | 83  |
| Fig. 3.9(c).  | Distribution of reservoir level peaks .....  | 83  |
| Fig. 3.9(d).  | Material properties .....  | 83  |
| Fig. 3.9(e).  | Load-resistance envelope .....   | 83  |
| Fig. 3.9(f).  | Sliding failure distribution .....   | 83  |
| Fig. 3.10(a). | f,N graphical representation .....   | 89  |
| Fig. 3.10(b). | F-N graphical representation .....   | 89  |
| Fig. 3.11.    | HSE Framework for the Tolerability of Risk<br>(Fig. 8 from HSE, 2001) .....  | 93  |
| Fig. 3.12.    | Personal risks in Western countries, deduced<br>from the statistics of causes of death and the number<br>per of participants activity (Fig.7. from Vrijling, 2001) .....   | 103 |
| Table 3.2.    | The value of the policy factor $\beta_1$ as a function of voluntariness<br>and benefit (Table 2 from Vrijling, 2001). For the safety of dikes<br>(Netherlands) a $\beta_1$ value of 1.0 to 0.1 is thought to be applicable | 105 |
| Fig. 3.13.    | Procedure for Tackling Uncertainty when Assessing Risk<br>(Fig. 2. from HSE, 2001) .....   | 107 |
| Fig. 3.14.    | Generic Process, which can be Applied to Arrive at Principles<br>and Criteria for Tolerability of Risk (NRC, 1996) .....   | 111 |
| Fig. 3.15.    | A Decision Support Framework for Major Accident Hazard<br>Safety (UKOOA, 1999) .....   | 115 |
| Fig. 4.1.     | Dam Safety Improvements in Washington State, USA .....   | 173 |

---

---

## AVANT-PROPOS

---

L'humanité ne cesse de développer ses connaissances techniques, soit pour trouver de meilleures solutions à des problèmes existants, soit simplement par soif toujours plus forte de découvertes.

Cependant, les nouveaux développements sont parfois considérés avec une certaine circonspection par les organisations professionnelles établies, rétives à admettre qu'elles ne mettaient peut-être pas en œuvre auparavant la meilleure approche. La recherche d'un équilibre entre les technologies existantes et les progrès nécessaires est donc un défi permanent. Il serait vain d'essayer d'affronter les défis d'aujourd'hui et de demain avec la technologie d'hier, et l'évaluation des risques doit être considérée comme un outil de perfectionnement dans notre chemin vers l'avenir.

Le monde ne cesse d'évoluer, et la société exige de plus en plus de transparence lors des prises de décision : on peut trouver un bon exemple de cette tendance dans le rapport de la Commission Mondiale sur les Barrages (CMB, 2000), qui recommande une stratégie approfondie dans ce domaine. La CIGB a demandé à tous ses comités d'identifier clairement toutes les approches permettant de répondre à cette demande de transparence. L'évaluation des risques fait partie de ces possibilités.

La complexité sans cesse croissante de la prise de décision pour les barrages, dans le respect de cette exigence de transparence et de responsabilité, demande de nouvelles approches pour une exploitation économique et sûre, pour la maintenance et pour la gestion d'ensemble. La démarche traditionnelle basée sur le respect de normes perd progressivement sa pertinence pour la gestion d'un barrage isolé ou d'un ensemble de barrage, lorsque l'on alloue des ressources limitées pour leur exploitation, leur réparation ou leur amélioration, sous l'œil de plus en plus attentif de l'opinion publique. L'évaluation des risques est une des techniques qui permettent de résoudre ce type de problème complexe.

D'un autre côté, la progression des connaissances technologiques bute également contre certaines limites. L'évaluation des risques est toujours dans sa phase de développement, et notamment pour son application aux barrages.

Les principes de l'évaluation des risques sont logiques et rationnels, et doivent être pris en compte par tous les pays lors de prises de décision concernant les barrages. Toutefois, l'application de la méthode et la transparence des prises de décision sont fortement conditionnées par l'environnement culturel de chaque pays. Les différences culturelles doivent être respectées, et il est donc impossible de proposer une méthode d'évaluation des risques adaptée pour tous les pays. Chaque pays considérera donc les techniques présentées dans ce bulletin, et déterminera les politiques et techniques pertinentes pour lui-même.

Ceci dit, on ne soulignera jamais assez la nécessité d'une utilisation raisonnée et adaptée de l'évaluation des risques. En conclusion, j'aimerais insister sur les points importants qui suivent :

- Ce bulletin est le fruit de discussions longues et animées au sein du Comité CIGB de sûreté des barrages. Les auteurs ont dû prendre en compte une large diversité d'opinions, certaines contradictoires.

---

# FOREWORD

---

Over time mankind faces a continuing increase in technological knowledge, through the search for better solutions to existing issues and an ever-increasing hunger for new opportunities.

Nevertheless, any new development might well be regarded by the established professional organizations with some mistrust under the cry of, “What did we do wrong before ?” It is therefore a constant challenge to find a progressive balance between existing technology and its improvement. It is futile to try to solve today and tomorrow’s challenges with yesterday’s technology. Risk assessment should be considered as a tool of improvement on the way to tomorrow.

The world is always on the move. Societal demands for transparency in decision-making are on an exponential trajectory ; a good example of this trend is seen in the report of the World Commission on Dams (WCD, 2000), which calls for a profound approach on this aspect. ICOLD has requested all of its committees to clearly identify opportunities to respond to the demands for a transparent technological decision framework. Risk assessment could be considered as such an opportunity.

The increase in the complexity of decision-making for dams, to meet societal demands for transparency and accountability, requires an improved approach for their economical and safe operation, maintenance and overall management. The traditional standards-based approach, by itself, is becoming increasingly inadequate to handle a single dam or a portfolio of dams in allocating limited resources for their operation, repair or improvement, in a climate of growing public scrutiny. Risk assessment is one technique, which could assist with this type of complex problem.

On the other hand every increase in technological knowledge also has limitations. Risk assessment is still in the development phase, and this is especially true of its application to dams.

The principles of risk assessment are logical and sound and should be considered by all countries as part of the decision-making on dams. However, application of technology and transparency of decision-making is strongly conditioned by the cultural background of a particular country. Cultural differences between countries must be respected, with the result that it is not possible to propose a risk assessment framework that would be suitable for all countries. Each country needs to consider what is set out in this bulletin and to determine the relevant framework and techniques for their society.

With the preceding thoughts in mind, the need for a wise and appropriate use of risk assessment cannot be emphasised too strongly. In conclusion, I would like to stress the following important matters:

- This bulletin is the result of prolonged and vigorous discussion within the ICOLD Committee on Dam Safety. The authors had to deal with a wide diversity of opinions, some of them contradictory.

- Du fait de cette diversité, ce bulletin sera considéré comme un instantané de la situation actuelle sur la longue route menant à une mise en œuvre appropriée de l'évaluation des risques dans l'ingénierie des barrages, et non comme l'expression de pratiques fermement établies. On peut même considérer que ce bulletin est destiné à encourager les discussions au sein de la profession, pour avancer vers une position largement acceptée sur le rôle de l'évaluation des risques.
- Les bulletins CIGB ne sont pas des documents contractuels pour les pays membres. Ce bulletin est destiné à servir d'outil complémentaire pour les ingénieurs, les maîtres d'ouvrage et les autorités de régulation afin de remplir leurs obligations dans tous les domaines de la sécurité des barrages.
- Le fait de considérer explicitement les risques associés aux barrages entraîne une discussion nécessaire au sein de la société civile : que considère-t-on comme risque tolérable, notamment en ce qui concerne la perte de vies humaines ou les dommages matériels ? La réponse peut permettre d'accepter un compromis entre les risques et les bénéfices sociaux des barrages. Ceci apparaît en effet comme une attente fondamentale de la société envers notre profession.

AMMO HOEKSTRA  
Président, Comité de la Sécurité des Barrages

- In view of the diversity of opinions, and the fact that this document is just a step in a long road ahead for the implementation, where appropriate, of risk assessment in dam engineering, this bulletin cannot be regarded as a statement of established practice. On the contrary, the bulletin is meant to open discussion within the dams engineering profession in order to come eventually to a generally accepted position on the role of risk assessment in dam safety management.
- ICOLD bulletins are not binding documents for member countries. This bulletin is meant to put forward an additional tool to assist engineers, owners and regulators in meeting their obligations with regard to dam safety in all its aspects.
- As a consequence of explicitly considering the risks associated with dams, it becomes clearer that wide societal discussion on what constitutes tolerable risk, especially as it relates to loss of human lives or damages to society, is necessary to reach acceptance of the societal benefits and risks of dams. In fact, this appears to be a key societal expectation for our profession.

AMMO HOEKSTRA  
Chairman, Committee on Dam Safety

---

## REMERCIEMENTS

---

Le Comité de la sécurité des barrages et le bureau de la CIGB remercient chaleureusement les principaux auteurs de ce bulletin et les organisations auxquelles ils appartiennent pour leur contribution. Les auteurs sont :

- M. L A McDonald, Président, New South Wales Dams Safety Committee, Australie – assistance en nature fournie par le Comité, et assistance financière fournie par le Comité national australien des grands barrages ;
- Dr D S Bowles, Directeur, Institute for Dam Safety Risk Management et Professeur d'ingénierie civile et environnementale, Université de l'Utah, et Chef d'établissement, RAC Engineers & Economists, États Unis d'Amérique – assistance financière et en nature fournie par l'Université de l'Utah ;
- Dr D N D Hartford, Ingénieur spécialisé en évaluation des risques des barrages, BC Hydro, Canada – assistance financière et en nature fournie par BC Hydro ;
- Dr J W van der Meer, Infram, Zeewolde, Pays-Bas – assistance en nature fournie par Infram ;
- Professeur J K Vrijling, Delft University of Technology, Pays-Bas – assistance en nature fournie par l'Université.

Les auteurs, grâce leur vaste expérience et à leurs connaissances ont apporté à l'entreprise la perspective d'un maître d'ouvrage, d'une autorité de contrôle, de consultants en gestion des risques et du monde universitaire. Cette largeur de vision et cette expérience permettent de présenter aux lecteurs de ce bulletin une approche équilibrée de l'évaluation des risques.

Nous remercions également chaleureusement pour leur assistance financière et en nature les organisations auxquelles appartiennent les présidents précédent et actuel du Comité de sûreté des barrages. Ces organisations sont :

- Sydney Catchment Authority, Australie ;
- Zeeland Directorate, Rijkswaterstaat, Pays-Bas.

---

## ACKNOWLEDGEMENT

---

The Committee on Dam Safety and the ICOLD Executive gratefully acknowledge the contribution of the principal authors of this bulletin and the support of their sponsoring organisations. The authors were:

- Mr L A McDonald, Chairman, New South Wales Dams Safety Committee, Australia – assistance in kind provided by the Committee and financial assistance provided by Australian National Committee on Large Dams ;
- Dr D S Bowles, Director, Institute for Dam Safety Risk Management and Professor of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, and Principal, RAC Engineers & Economists, United States of America – financial and in kind assistance provided by Utah State University ;
- Dr D N D Hartford, Specialist Engineer, Dam Safety Risk Assessment, BC Hydro, Canada – financial and in kind assistance provided by BC Hydro;
- Dr J W van der Meer, Infram, Zeewolde, Netherlands – in kind assistance provided by Infram;
- Professor J K Vrijling, Delft University of Technology, Netherlands – in kind assistance provided by the University.

The authors brought a wealth of knowledge and experience to the task, from the perspective of a dam owner, a dam safety regulator, risk management consultants and academia. This breadth of outlook and experience available to the authors provides a unique opportunity for readers of this bulletin to learn about risk assessment in a balanced way.

The in kind and financial assistance of the organizations of the previous and the present Chairmen of the Committee on Dam Safety are also gratefully acknowledged. These organizations were:

- Sydney Catchment Authority, Australia;
- Zeeland Directorate, Rijkswaterstaat, Netherlands.

---

# RÉSUMÉ

---

Les sociétés évoluent, et l'opinion publique prend de plus en plus conscience que la sécurité n'est jamais absolue, mais qu'il s'agit d'un compromis, avec toujours un faible risque résiduel. Elles exigent que les risques soient connus et maîtrisés d'où la mise en œuvre de l'évaluation des risques dans de nombreuses activités publiques ou privées de natures très différentes, mais pouvant affecter le bien être et les intérêts de la communauté.

Pour des raisons historiques variées, et pour des raisons techniques, la sûreté des barrages a été assurée par des méthodes basées sur le respect de normes de sécurité, développées pendant de nombreuses années, initialement pour la conception de nouveaux barrages, mais de plus en plus utilisées ces dernières décennies pour vérifier la sûreté des barrages existants. Certains se demandent désormais si les techniques d'évaluation des risques, développées pour d'autres industries peuvent être adoptées comme outil supplémentaire pour la prise de décision dans la gestion de la sécurité des barrages.

La profession doit encore s'accorder sur une position commune concernant le rôle et l'utilité de l'évaluation des risques pour la gestion de la sécurité. Ce bulletin se propose de fournir une introduction aux principes et à la terminologie de l'évaluation des risques. Il présente également les applications actuelles de l'évaluation des risques pour la prise de décision, et espère ainsi proposer une plateforme de discussion professionnelle sur la place de ces techniques dans tous les domaines touchant à la sécurité des barrages.

La première section de ce bulletin est une introduction qui :

- insiste sur le fait que les termes « analyse des risques » et « évaluation des risques » ne se réfèrent pas à la démarche traditionnelle basée sur la normalisation utilisée en ingénierie des barrages (même si celle-ci peut être efficace pour la gestion des risques), sauf si le texte le mentionne explicitement ;
- fait allusion aux développements dans d'autres industries ;
- suit les évolutions des attentes observées dans de nombreux pays – baisse de confiance dans le gouvernement, les entreprises ou les corps de métiers, demande de concertation et de participation à la prise de décision et exigence de transparence ;
- explique comment l'acceptation des risques dépend de la culture et des circonstances dans chaque pays ;
- souligne le fait que l'évaluation formelle des risques pour les barrages, en utilisant des méthodes reconnues d'analyse, n'en est qu'aux balbutiements et que des discussions et recherches additionnelles sont indispensables ;
- observe que l'évaluation des risques propose des réponses aux questions que se posent les décideurs, en traitant les incertitudes explicitement et dans la transparence ;
- présente la pertinence des différentes sections du bulletin pour les maîtres d'ouvrage, les autorités de contrôle et les professionnels ;
- explique que les disciplines techniques n'ont pas vocation à s'immiscer dans toutes les considérations jouant un rôle dans la prise de décision, et donc que

---

## SUMMARY

---

Societies are evolving and their populations are becoming increasingly aware that safety is not an absolute condition, but is a tolerated situation, with low levels of residual risk ever present. The demand by society that risks are kept under review and properly controlled has resulted in the application of risk assessment over a very wide spectrum of public and private activities with the potential to affect the welfare and interests of the community.

For various historical reasons and some technical reasons, the safety of dams has been controlled by an engineering standards-based approach, which has developed over many years, initially for the design of new dams, but increasingly applied over the past few decades to assess the safety of existing dams. Some are now asking whether the techniques of risk assessment, developed for other industries, could be adapted as an additional tool to assist in decision-making for dam safety management.

The profession is yet to come to an accepted position on the role and usefulness of risk assessment as an aid to dam safety management. The purpose of this bulletin is to provide an introduction to the principles and terminology of risk assessment. Applications, to date, of risk assessment to dam safety decision-making are also outlined. In this way, the bulletin can provide a platform for informed discussion by the profession on the place of risk assessment in the wider field of dam safety management.

Section 1 of the bulletin is an Introduction, which:

- Makes clear that, to avoid confusion, in this bulletin the terms risk analysis and risk assessment do not refer to the traditional standards-based approach to dams engineering, unless the text explicitly states otherwise, though this approach can be an effective means of risk management;
- Mentions developments in other industries;
- Traces the changes in expectations that have been observed in many countries – reduced trust in government, corporations and the professions, the call for consultation and involvement in decision-making, and demands for transparency;
- Explains that tolerability of risk depends on each country's cultural background and circumstances;
- Emphasises that formal risk assessment for dams, using recognised methods of risk analysis, is in its infancy and that more research and discussion is needed;
- Sees that risk assessment sets out to answer the questions, which are in the minds of decision-makers, and treats uncertainty explicitly and transparently;
- Shows the relevance of the various sections of the bulletin to dam owners, dam safety regulators and professional practitioners;
- Explains that the knowledge-based disciplines have no special claim to advise on some considerations involved in decision-making, and that consequently

le bulletin ne traite pas du processus final de décision, même s'il présente les recommandations des professionnels de l'évaluation des risques pour cette prise de décision ;

- décrit comment sont présentées les références mentionnées dans le bulletin.

La section 2 est destinée à présenter l'évaluation des risques dans le contexte global de la sûreté des barrages, et à décrire les raisons pour mettre en œuvre ces techniques comme complément aux démarches traditionnelles pour gérer les risques. La section répond à la question suivante : « Pourquoi s'engager dans l'évaluation des risques ? »

Elle décrit les raisons historiques du développement des barrages, destinés à apporter un bénéfice à la société. L'opinion publique ne s'inquiète généralement pas d'une possible rupture de barrage, contrairement aux ingénieurs qui sont conscients des conséquences dramatiques qu'aurait une rupture de barrage. Ces préoccupations mènent tout naturellement à la question de savoir à quel point un barrage doit être sûr, question d'intérêt vital pour la communauté au regard des effets d'une rupture sur la population au sens large.

La section 2 s'intéresse ensuite à la prise en compte des risques liés à une rupture et à la crue catastrophique qui s'ensuivrait. Les évolutions rapides de la société rendent de plus en plus nécessaire de compléter la démarche traditionnelle des ingénieurs pour la gestion de la sécurité par des techniques d'évaluation des risques. Ces évolutions sont variables suivant les pays, et sont liées au vieillissement des barrages existants, aux possibilités parfois limitées pour les ingénieurs d'acquérir de l'expérience dans la conception et la construction des barrages, à l'exigence de transparence et d'évaluation documentée de la sécurité, et enfin à la dérégulation et privatisation introduisant des notions de profit. Beaucoup de risques peuvent être quantifiés, mais certains, comme ceux impliquant les dommages immatériels entraînés par une rupture de barrage (douleur humaine, traumatisme de la société, perte de patrimoine, perte de confiance dans l'organisation propriétaire du barrage) défient la quantification, mais restent fondamentaux pour la prise de décision.

Les différents apports de l'évaluation des risques à une meilleure compréhension de la sécurité des barrages sont ensuite décrits. Notamment, la démarche probabiliste utilisée dans l'analyse des risques offre désormais des techniques améliorées pour analyser l'efficacité de mesures non structurales, alors que dans l'ingénierie traditionnelle, ces mesures sont basées largement sur des considérations techniques. Des exemples de telles mesures sont :

- amélioration des prévisions de précipitations ;
- surveillance des barrages et interventions au bon moment ;
- mise au point d'une organisation de sécurité et de formation du personnel, d'une automatisation et de systèmes d'exploitation fiables ;
- prise en compte des zones à risque en aval ;
- alertes et évacuation en cas de crue catastrophique.

Les risques dans ces zones doivent être analysés et contrôlés avec le même soin que celui apporté à la conception de la structure du barrage : se pose alors la question de savoir comment les niveaux de risques inhérents aux normes d'ingénierie traditionnelle sont reliés aux critères de risques tolérables, en

the bulletin does not deal with the ultimate decision process itself, though it does deal with the formulation of decision recommendations by the professional people undertaking risk assessments;

- Explains how the references, given in the bulletin, are set out.

Section 2 aims to put risk assessment into the overall context of dam safety management, and to outline reasons for undertaking risk assessments, as an additional tool to supplement the traditional standards-based approach to management of risks. The section answers the question: “Why do risk assessment ?”

The historical reasons for development of dams are outlined, showing that they have been built because they benefit society. But the community generally does not think of the remote possibility that a dam might fail, though the question is of concern to engineers, because they can appreciate the enormous havoc, which would result from a failure. This concern leads on inevitably to the question of how safe a dam should be, a question of vital interest to the community in view of the effects that a failure would have on the interests of the population at large.

Section 2 then moves on to consider how the risks relating to dam-break and catastrophic flooding should be addressed. Here the rapid changes in the societal attitudes and environment are pointing increasingly to the need to supplement the traditional engineering approaches to dam safety management with risk assessment. Some of these influences, which vary in importance from one country to another, are the ageing of dams, the limited opportunities for engineers to gain experience on dam design and construction, the demands for transparency and documented safety evaluations and deregulation and privatisation introducing the profit motive. However, whilst many risks can be quantified, others, such as those involving the intangible consequences of dam failure (such as personal grief, societal trauma, loss of valued heritage, loss of confidence in the dam owning organization), defy quantification but are nonetheless important considerations in decision-making.

Ways in which risk assessment can add to the understanding of dam safety are then outlined. In particular, the probabilistic approach used in risk analysis now offers improved ways to analyse the effectiveness of non-structural measures to improve safety, whereas in the traditional engineering approach, these measures have necessarily been largely assessed by engineering judgement. Examples of such measures are:

- Improved forecasting of rainfall;
- Monitoring of dams and timely intervention;
- Organization for safety, staff training, reliable operating systems and automation;
- Planning in the downstream areas at risk;
- Flood warning and evacuation.

The risks in these areas need to be analysed and controlled with the same care as for the design of the dam structure. This need leads to the question of how the risk levels inherent in the traditional engineering standards relate to the tolerable risk criteria, especially life safety criteria, which have been evolving in other

particulier pour la protection des vies humaines, question déjà envisagée dans d'autres industries. Cette question peut être traitée en termes probabilistes. Il est évident que chaque pays doit se positionner par rapport à l'acceptation des risques, la politique dans ce domaine dépendant de la culture locale, du système politique et judiciaire et de la disponibilité des ressources.

Le dernier point abordé dans la section 2 concerne l'importance fondamentale du contexte de décision pour la démarche adoptée dans l'évaluation des risques. Quelques considérations fondamentales :

- l'état des connaissances dans le domaine du risque ;
- l'écart entre le niveau de risque acceptable et le niveau de risque existant ;
- les options disponibles pour l'amélioration des connaissances ou pour traiter cet écart ;
- les valeurs sociales devant être prises en compte ;
- le respect de la législation en cours ;
- l'intérêt des parties prenantes ;
- dans le cas d'un maître d'ouvrage privé, les intérêts commerciaux en jeu ;
- le degré de développement de l'économie et le système politique en place.

De tels facteurs influencent le processus de décision et l'information que doit générer l'évaluation des risques.

La section 3 du bulletin traite les principes de l'évaluation des risques. Elle répond à la question suivante : « Comment procède-t-on en appréciation des risques ? », tout en restant à un niveau très général. Il existe une demande naturelle de conseil détaillé pour mettre en œuvre l'évaluation des risques, mais les spécialistes de l'ingénierie des barrages ont tout d'abord besoin de se mettre d'accord sur l'adaptation des principes généraux développés pour d'autres industries aux nécessités de la sûreté des barrages. Il serait prématuré de présenter des directives détaillées avant que cette concertation nécessaire ait eu lieu.

La section 3 commence par souligner les concepts fondamentaux suivants :

- analyse des risques – estimation de la probabilité des événements indésirables (ruptures catastrophiques ou fonctionnements défectueux) et de leurs conséquences ;
- appréciation des risques – le processus d'examen et de jugement de l'importance du risque ;
- évaluation des risques – le processus complet d'analyse, d'appréciation et de comparaison des risques existants avec les risques tolérables pour permettre de juger si ceux-ci sont correctement maîtrisés, ou dans le cas contraire, de recommander des mesures correctives.

L'analyse des risques demande de décomposer le barrage en différentes entités, d'identifier les mécanismes de défaillance pour chaque composant, d'analyser les risques associés, puis de recombinaison le système pour obtenir une vue d'ensemble.

Les stratégies d'analyse des risques sont décrites de la manière suivante :

- basé sur la référence à des normes – la démarche technique traditionnelle pour la sécurité des barrages en est un exemple ;

industries. This question can best be addressed in probabilistic terms. A key aspect is that each country must decide its attitude to tolerability of risk, since tolerable risk policies depend on such factors as the particular culture, political and legal system, and availability of resources.

The last matter covered in Section 2 is the fundamental importance of the decision context to the approach taken in undertaking risk assessment. Key considerations are:

- The state of knowledge regarding risks;
- The gap between the desired risk state and the actual state;
- The options available to improve knowledge or to address this gap;
  
- The societal values to be taken into account;
- Any regulatory regime that must be followed;
- The interests of stakeholders;
- In the case of private owners, the business interests that are involved;
- The degree of development of the economy and the political system that is in place.

Such factors define the decision process and the information to be generated by risk assessment.

Section 3 of the bulletin deals with the principles of risk assessment. In effect, it answers the question: “How is risk assessment done ?” But the treatment is at a very high generic level. There is a natural clamour for detailed guidance on undertaking risk assessment, but the dams engineering profession first needs to agree on how the generic principles, developed for other industries, should be adapted to the needs of dam safety management. Until this necessary discussion takes place, it would be premature to offer detailed guidance.

Section 3 starts by outlining the key concepts of

- Risk analysis – the estimation of the likelihood of unwanted events (such as catastrophic failures or unsatisfactory performance) and their associated consequences;
- Risk evaluation – the process of examining and judging the significance of risk;
- Risk assessment – the total process of risk analysis, risk evaluation and comparison of the risks with tolerable risks to arrive at a recommendation as to whether risks are adequately controlled and, if not, what might be done to adequately control them.

Risk analysis involves breaking down a dam system into its components, identifying the failure mechanisms for each component, analysing the associated risks, and then re-combining the system to get the overall picture on risk.

Approaches to risk analysis are described, as follows:

- Standards-based – the traditional engineering approach to dam safety is an example;

- analyse qualitative – l’analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) en est un exemple ;
- analyse quantitative – des exemples sont fournis par les différentes formes d’analyse de fiabilité.

Les principes sont ensuite traités en détail, de la façon suivante :

- systèmes, modèles et défaillances – avec des exemples dans le domaine des barrages ;
- défaillance – modes, risques d’accident, mécanismes et effets ;
- méthodes d’analyse des risques – comprenant l’AMDE, les arbres d’évènements, les arbres de défaillances et les analyses de fiabilité (structurelle et humaine) ;
- représentation des risques et présentation des résultats – présentations graphiques ou autres à l’usage des décideurs.

La sous-section 3.3 décrit ensuite les principes de l’appréciation des risques, qui est « *le processus d’examen et de jugement de l’importance des risques* ».

L’appréciation des risques n’est jamais facile, notamment pour des techniciens n’envisageant que des démarches directes et purement quantitatives. La littérature présentant les principes d’une politique de protection des personnes est relativement rare. Pour traiter ce sujet, nous devons dépasser la frontière séparant le monde technique de l’ingénierie des barrages du monde plus subjectif des valeurs et des jugements. Aujourd’hui, dans de nombreux pays, la société désire légitimement imposer à la communauté technique le niveau de sécurité devant être respecté par les systèmes technologiques, contrairement à ce qui se produisait dans le passé.

L’évaluation des risques offre une possibilité de gérer la sécurité des barrages en utilisant une politique d’appréciation des risques commune à toutes les installations potentiellement dangereuses. Cette sous-section ne présente donc pas une approche spécifique aux barrages.

Les concepts de risque « acceptable » et « tolérable » sont expliqués. De manière idéale, le niveau des risques pouvant être tolérés d’un point de vue du bien-être et des intérêts de la population doit être le fruit d’un processus politique basé sur des valeurs de société. Mais lorsque le législateur ne joue pas ce rôle, les autorités de contrôle, les organismes professionnels ou les propriétaires doivent fixer le niveau du risque accepté.

Dans la sous-section 3.3.2, on évoque la recherche sociologique qui a révélé les facteurs influençant la façon de percevoir différents types de risques, et donc leur niveau de tolérance. Parmi ces facteurs, nous citerons :

- Les risques sont-ils imposés ou acceptés volontairement ?
- Les risques sont-ils bien compris, ou redoutés par méconnaissance ?
- L’exposition est-elle inhérente ou évitable ?
- La concrétisation du risque aura-t-elle des conséquences immédiates ou retardées ?

Les préoccupations liées aux risques sont de deux types – celles concernant les personnes, et celles concernant la société dans son ensemble.

- Qualitative analysis – Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is an example;
- Quantitative analysis – various forms of reliability analysis are examples.

The principles are then treated in more detail, as follows:

- Systems, system models and system failures – with examples related to dams;
- Failure – modes, hazards, mechanisms and effects;
- Risk analysis methods – including FMEA, event trees, fault trees and reliability analysis (both structural and human);
- Representation of risk and presentation of results – graphical and other ways of presenting risk information to decision-makers.

Sub-section 3.3 then outlines the principles of risk evaluation, which is “*the process of examining and judging the significance of risk*”.

The topic of risk evaluation is a not an easy one, especially for technical persons who may be looking for straightforward and purely quantitative approaches. There is little in the literature that provides a coherent exposition of the principles of public safety policy formulation. To grapple with this topic requires that we cross the boundary from the technical world of dam safety engineering into the far more subjective world of values and value judgements. Today, in many countries, society expects that it will dictate to the technological community the safety and other goals that should be met by technological systems, rather than the opposite, as has often been the case in the past.

Risk assessment provides an opportunity to manage dam safety using a framework of risk evaluation that is common to all major hazardous facilities and not just dams, so that, in this sub-section, risk evaluation is approached from a general perspective rather than for dams in particular.

The concepts of “acceptable” and “tolerable” risk are explained. Ideally, the tolerability of risks to the welfare and interests of the public should be decided by the political process based on societal values. But, where legislators do not take the lead, regulators, professional bodies or dam owners need to decide on the tolerability of risks.

In Sub-section 3.3.2, there is reference to sociological research, which has revealed the factors that influence the way in which people perceive various types of risks, and thus their tolerability. Some of these factors are:

- Whether risks are accepted voluntarily or are imposed;
- Whether risks are well understood or are dreaded because of poor understanding;
- Whether exposure is essential or avoidable;
- Whether realisation of the risk would have immediate or delayed consequences.

The concerns arising from risks fall into two categories – those of concern to individuals and those of concern to society as a whole.

La sous-section 3.3.3 présente quelques principes généraux servant de base aux critères de risque tolérable par les individus ou par la société. Au niveau le plus élevé, deux principes fondamentaux s'opposent :

- équité – le droit des individus et de la société à être protégés ;
- efficacité – la nécessité pour la société de distribuer et d'utiliser les ressources disponibles de manière à en tirer un bénéfice maximum.

Ces principes fondamentaux sont valables dans de nombreuses sociétés représentant des cultures très différentes et des systèmes politiques et législatifs très variés. Mais les principes dérivés, destinés à trouver un compromis entre les deux principes fondamentaux, naissent d'un processus complexe de décision et dépendent étroitement de la culture et des systèmes politiques et législatifs d'une société donnée. Quelques critères « purs » traduisant ces principes dérivés sont décrits.

Quittant la perspective plutôt philosophique des sections précédentes, la sous-section 3.3.4 présente la politique générale d'acceptation des risques de la Direction de la Santé et de la Sécurité (*Health and Safety Executive*, HSE) du Royaume-Uni, comprenant des exemples de critères hybrides de risque tolérable.

Les sous-sections 3.3.5 et 3.3.6 continuent de présenter la démarche du HSE, avec les points importants que constituent l'ALARP (*As Low as Reasonably Practicable* – aussi bas que raisonnablement praticable) et l'incertitude dans l'appréciation des risques. Bien que les travaux du HSE présentent un grand intérêt pour de nombreux pays de système législatif semblable au Royaume-Uni, la discussion et les exemples de démarches suivies montrent qu'il ne sont pas systématiquement applicables dans tous les pays.

La sous-section 3.4 aborde l'utilisation des informations concernant les risques, notamment les résultats des appréciations, pour l'élaboration des décisions, et particulièrement celles qui concernent le contrôle et la gestion des risques. Les résultats des appréciations de risque alimentent le processus de décision, mais ne dictent pas celle-ci.

La sous-section 3.4 s'intéresse donc plus à l'utilisation de l'information concernant les risques comme un des éléments de la décision, qu'au processus de décision lui-même. Le contexte de décision varie selon les pays, et les décisions elles-mêmes impliquent des considérations sortant du cadre de ce bulletin.

La sous-section 3.4.2 résume un processus général de prise de décision en examinant des options utilisant une combinaison de bases de décision.

La sous-section 3.4.3 fait la liste d'options générales pour le contrôle et la gestion des risques sur les barrages.

La sous-section 3.4.4 décrit le rôle de l'équipe d'évaluation des risques et des autres participants au processus de décision.

Les sous-sections 3.4.5 – 3.4.7 proposent certaines stratégies d'intégration de l'information de risque dans la prise de décision pour les catégories générales suivantes :

- quel niveau de sécurité peut-on considérer comme suffisant ? – la question peut se poser pour un barrage isolé ;

Sub-section 3.3.3 introduces some general principles upon which all individual and societal tolerable risk criteria are based. At the highest level there are two fundamental competing principles:

- Equity – the right of individuals and society to be protected;
- Efficiency – the need that society has to distribute and use its available resources in such a way as to gain maximum benefit.

These key principles have validity across many societies, with a wide range of cultures and political and legal systems. But the sub-ordinate principles, which derive from the need to strike a balance between the two key principles, arise out of a complex decision-making process and are dependent on the culture and political/legal systems of the particular society. Some “pure” criteria expressing these sub-ordinate principles are outlined.

In an attempt to shift from the more philosophical slant of the earlier sections, the United Kingdom *Health and Safety Executive’s* (HSE) generalised framework for the tolerability of risk is summarised in Sub-section 3.3.4, including its example of “hybrid” criteria for tolerable risk.

Sub-sections 3.3.5 and 3.3.6 continue with the HSE approach to present the important topics of ALARP and uncertainty in risk evaluation. Although the HSE’s work is seen to have value in many countries with legal systems similar to the UK, its discussion, as an example of approaches that are followed, does not imply that it is suitable for adoption in all countries.

Sub-section 3.4 deals with the use of risk information, including the outcomes of risk evaluations, in the development of decision recommendations, including those related to decisions on risk control and management. The outcomes of risk evaluation are inputs to the decision process; but they do not prescribe the decision.

Sub-section 3.4 is concerned with the use of risk information to support decision recommendations rather than the decision process itself, since the decision context varies from country to country, and therefore decisions involve considerations beyond the scope of the bulletin. The discussion commences by showing that the considerations involved in reaching decisions go beyond the results of risk assessment, which are but one input in the process of reaching a decision.

Sub-section 3.4.2 summarises a general decision making process for examining decision options using a combination of decision bases.

Sub-section 3.4.3 lists generic options for dam safety risk control and management.

Sub-section 3.4.4 outlines the roles of the risk assessment team and others in the decision process.

Sub-sections 3.4.5 – 3.4.7 suggest some ways to incorporate risk information into decision-making for the following general categories of dam safety decisions:

- How safe is safe enough ? – could be asked for an individual dam;

- quelle est la démarche optimale de réduction des risques ? – la question peut se poser pour un ensemble de barrages, ou pour les étapes de réduction des risques pour un barrage isolé ;
- quels sont les éléments nécessaires pour gérer les risques résiduels ? – stratégies continues de gestion des risques, associées aux perspectives à court ou à long terme.

La sous-section 3.4.8 décrit brièvement d'autres utilisations des résultats de l'évaluation des risques pour les activités d'un propriétaire de barrage.

La section 4 répond à la question : « Quelles sont les applications actuelles de l'évaluation des risques sur les barrages ? ». La section comporte essentiellement un résumé des résultats d'une étude effectuée dans tous les pays membres de la CIGB en 2001. Des références très complètes, fournies par les pays ayant répondu, sont listées en sous-section 7.2. Cette étude a révélé que :

- quelques pays sont actifs dans l'étude de stratégies pour adapter les principes de l'évaluation des risques aux problèmes de la sécurité des barrages, et dans la recherche ;
- plusieurs pays sont intéressés, mais attendent d'autres développements ;
- les autres pays ne sont pas intéressés, et n'éprouvent pas le besoin d'appliquer l'évaluation des risques aux barrages.

La section 5 présente l'importance de la terminologie dans la communication concernant les risques, et les confusions passées dues aux différentes terminologies incompatibles. L'article conseille d'utiliser le glossaire de la section 6, basé sur les principes suivants :

- les définitions doivent être compatibles avec les normes nationales concernant la gestion et l'analyse des risques ;
- elles doivent être compatibles avec le sens le plus généralement reconnu dans la discipline de l'analyse des risques ;
- elles doivent être si possible compatibles avec le sens général des mots donnés dans un dictionnaire courant ;
- les sens acceptés actuellement pour l'ingénierie des barrages doivent être conservés, sauf s'ils sont en contradiction avec l'un des objectifs précédents.

La section 6 est constituée du glossaire lui-même.

La section 7 présente la liste de références. La sous-section 7.1 présente les références mentionnées dans toutes les sections du corps du bulletin, excepté la section 4. La sous-section 7.2 liste les références relatives à la section 4, la plupart fournies par les pays membres lors de la réponse à l'étude sur les applications actuelles. On mentionne notamment les contributions à la question 76, *Utilisation de l'analyse de risques comme aide à la gestion et à la prise de décision dans la surveillance des barrages* du 20<sup>e</sup> congrès CIGB tenu à Pékin, Chine, en septembre 2000. Ces contributions figurent dans les volumes I et V des actes du congrès.

L'annexe propose une liste d'études de cas, qui pourront être consultés pour une meilleure connaissance des différentes approches de mise en œuvre des principes de l'évaluation des risques pour les barrages et ouvrages associés.

- What is the optimum risk reduction pathway? – could be asked over a portfolio of dams or for the staging of risk reduction for an individual dam;
- What is needed to manage the residual risks? – on-going risk management strategies associated with short- through long-term time horizons.

Sub-section 3.4.8 briefly describes other uses of the outcomes of risk assessment for a dam owner's business.

Section 4 answers the question: "What is being done in applying risk assessment to dams?" The section is essentially a summary report of the results of a survey of all member countries of ICOLD undertaken in mid-2001. Extensive references, provided by the responding countries, are listed at Sub-section 7.2. The survey revealed that:

- A few countries are active in seeking ways to adapt the principles of risk assessment to dam safety problems and in undertaking research;
- Many countries are interested but are awaiting further developments;
- The remaining countries are not interested and do not feel the need for risk assessment applied to dams.

Section 5 is a discussion of the importance of terminology in communicating about risks, and the confusion, which has arisen because of inconsistent systems of terminology. The discussion presents the Glossary in Section 6 as a preferred terminology, which is based on the following principles:

- The definitions should be compatible with national standards on risk management and analysis;
- They should be compatible with the most common meanings in use in the discipline of risk analysis;
- They should be compatible with the ordinary dictionary meaning of words, so far as possible;
- Meanings that are presently accepted within the discipline of dams engineering, should be preserved where that does not offend the three preceding objectives.

Section 6 is the Glossary.

Section 7 is the list of references. Sub-section 7.1 gives the references cited in all parts of the main text of the bulletin, except Section 4. Sub-section 7.2 lists the references relating to Section 4, most of them provided by member countries in responding to the survey of current applications. Attention is drawn particularly to the contributions under Question 76, *The Use of Risk Analysis to Support Dam Safety Decisions and Management*, of the ICOLD 20th Congress, held in Beijing, China in September 2000. These contributions are found in Volumes I and V of the congress proceedings.

The appendix gives a list of case studies, which could be referred to in order to obtain an understanding of the ways in which the principles of risk assessment are being applied to dams and related structures.

---

# 1. INTRODUCTION

---

En mars 1997, la CIGB a approuvé la mission confiée au Comité de sûreté des barrages, consistant à préparer un bulletin sur l'évaluation des risques pour les barrages.

Dans ce bulletin, les termes *analyse des risques* et *évaluation des risques* sont associés aux méthodes conventionnelles d'analyse et d'évaluation des risques, caractérisées en général par :

- L'évaluation de la probabilité d'événements indésirables ;
- L'évaluation des conséquences liées à l'événement, s'il survient ;
- La prise en compte des incertitudes associées ;
- La considération de l'acceptation des risques estimés (dans le cas de l'évaluation des risques).

La démarche d'ingénierie traditionnelle basée sur l'utilisation de normes de sécurité peut être une manière très efficace de décider si les risques sont acceptables, et s'il est nécessaire de les réduire et de les contrôler, c'est donc un des outils de gestion des risques. Mais, pour éviter toute confusion, les termes *analyse des risques* et *évaluation des risques* ne se référeront pas à la démarche traditionnelle, sauf si le texte le mentionne explicitement.

L'évaluation des risques, sous des formes variées, est devenue partie intégrante de la gestion des risques dans d'autres industries, et dans la société en général. En voici quelques exemples :

- Les stratégies adoptées par la Direction de la Santé et de la Sécurité au Royaume-Uni, présentées récemment dans le document en langue anglaise « Réduction des risques, protection des personnes » (HSE, 2001) ;
- Aux Pays-bas, la politique de gestion des risques, comprenant des règles d'acceptation des risques, a été approuvée par le parlement (Ministère du logement, de la planification physique et de l'environnement, 1989) ;
- Les concepts exposés dans le document du United States National Research Council Compréhension des risques – Prise de décision dans une société démocratique (NRC, 1996).

La publication de normes nationales concernant la gestion du risque est une autre preuve de cette tendance. Les normes australiennes/néo-zélandaises (SA/SNZ, 1999) et les normes canadiennes (CSA, 1991, 1993 et 1997) en sont une illustration.

Ces développements reflètent les évolutions des attentes de la société. Le public étant de plus en plus instruit, l'exigence d'une meilleure transparence et responsabilisation lors des prises de décision affectant la société est croissante. D'autre part, l'opinion est de plus en plus consciente que l'incertitude fait partie du processus de prise de décision ayant un impact sur la société. L'opinion demande donc de connaître l'origine, la nature et l'échelle des incertitudes. Dans ce contexte, les pratiques d'ingénierie s'adaptent graduellement pour répondre à ces nouvelles attentes. Certaines adaptations importantes sont :

---

# 1. INTRODUCTION

---

In March 1997, ICOLD approved Terms of Reference that required the Committee on Dam Safety to prepare a bulletin on risk assessment for dams.

In this bulletin, the terms *risk analysis* and *risk assessment* are associated with the formal methods of analysing and estimating risks, generally characterised by:

- The estimation of the likelihood of unwanted events;
- The estimation of the associated consequences that would be realized should the event occur;
- Consideration of the uncertainties involved;
- Consideration of the tolerability of the estimated risks (in the case of risk assessment).

It is recognised that the traditional standards-based approach to dams engineering can be a very effective means of deciding whether risks are acceptable and of the need to reduce and control risks; that is, a means of risk management. But, to avoid confusion, the terms *risk analysis* and *risk assessment* will not refer to the traditional approaches in this bulletin, except where the text explicitly states that they do.

Risk assessment, in various forms, is becoming a common part of risk management in other industries, and in society generally. Some examples are:

- The approaches adopted by the Health and Safety Executive in the United Kingdom, as recently summarised in the document *Reducing Risks, Protecting People* (HSE, 2001);
- The approach to risk management in the Netherlands, where the risk management framework, including tolerable risk policies, has been endorsed by the national parliament (Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1989);
- The concepts set out in the United States National Research Council document *Understanding Risk – Making Decisions in a Democratic Society* (NRC, 1996).

The publication of national standards, on aspects of risk management, is further evidence of this trend. Some examples are the Australia/New Zealand standard (SA/SNZ, 1999) and the Canadian standards (CSA, 1991, 1993 and 1997).

These developments reflect changes in societal expectations. As the population becomes better educated, there are demands for greater transparency and accountability in decision-making that potentially affects the welfare of society. Moreover, there is a growing awareness in the population that uncertainty is inherent in decision-making that has societal implications. Increasingly, the population wants to know the sources, nature and scale of the uncertainties. Against this background, gradual shifts are seen in engineering practice to meet these new societal expectations. Some key shifts are:

- Le passage de la démarche traditionnelle du « faites-nous confiance » des organismes publics à une certaine « transparence » de la prise de décision.
- Le passage des méthodes « déterministes » aux méthodes « probabilistes » d'analyse et de simulation.
- Le passage du seul « jugement technique » à une plus grande utilisation d'« analyses de type fiabilité » pour quantifier la probabilité ;
- Le passage des « normes techniques » à l'utilisation conjointe de « facteurs sociétaux » pour l'évaluation de la sécurité des systèmes.

La mention de cette tendance prédominante vers des prises de décision plus ouvertes n'exclue pas la reconnaissance de la diversité des cultures des différents pays. Dans certains pays, la population peut être inquiétée par le fait que l'on reconnaisse un facteur d'incertitude dans la prise de décision. La culture de certains pays peut mener à exiger une totale confiance dans les organismes publics. Dans ces pays, la notion de risque résiduel, notamment la mise en danger des vies humaines, s'oppose au bon ordre de la société. Il est vital que ces réalités fort diverses soient respectées. Les valeurs d'une société ne sont pas toujours applicables à d'autres sociétés ayant un système de valeurs différent.

L'objectif de ce bulletin est d'introduire des concepts et méthodes d'évaluation des risques, ainsi que les bénéfices ou limitations associées, et présenter les résultats d'une étude concernant des applications actuelles dans des pays membres de la CIGB. Cette présentation se veut neutre et équilibrée. L'analyse et l'évaluation des risques pour la sécurité des barrages n'en est qu'à ses débuts, et demande des recherches supplémentaires pour son développement, ainsi qu'une maturation des connaissances par une discussion argumentée entre les professionnels intéressés.

Ce document représente donc une première discussion des concepts de l'évaluation des risques, destinée à promouvoir de futurs échanges et le développement des concepts et méthodes. La situation est dynamique, et les contenus de ce bulletin devront être révisés, complétés, et mieux argumentés au fur et à mesure de l'implication des professionnels et de la progression des connaissances. Ces connaissances vont découler de l'expérience, de la recherche et des échanges.

Une des difficultés rencontrées lors de la préparation de ce bulletin a été le niveau de langage à utiliser. Un langage trop basique pourrait lasser le lecteur expérimenté dans le domaine de l'évaluation des risques. Inversement, un langage trop technique aurait découragé ceux qui sont peu familiers avec ce domaine. Le document est donc écrit dans l'espoir que le lecteur expérimenté reconnaîtra les éléments essentiels présentés, tandis que le lecteur inexpérimenté, suivant les textes et conseils, pourra mieux apprécier la vue d'ensemble de l'évaluation des risques, après avoir passé les références en revue.

L'évaluation des risques n'en étant qu'à ses prémices, ce bulletin ne peut jouer le rôle de code ou de manuel des pratiques établies, malgré la demande existante pour un guide détaillé. La profession doit d'abord aborder les concepts fondamentaux pour pouvoir donner à l'évaluation des risques pour la sûreté des barrages un rôle propre au contexte social de chaque société.

Malgré la nécessité de développements supplémentaires, certains maîtres d'ouvrages, autorités de contrôle et professionnels sont déjà certains qu'une bonne

- From the “trust us” traditional approach of public agencies to “transparency” in decision-making;
- From “deterministic” to “probabilistic” methods of analysis and simulation;
- From “engineering judgement” alone to greater use of “reliability type analyses” in quantifying likelihood;
- From “engineering standards” to also using “societal-based factors” for evaluating the safety of engineered systems.

In mentioning this predominant trend to more open and accountable decision-making, it is essential to recognise the diversity of cultural backgrounds among countries. In some countries, the population is not comfortable with an acknowledgement of uncertainty in decision-making. In particular, the culture in some countries demands absolute confidence in public agencies. In such countries, notions of residual risk, particularly risk to life, are against the good order of society. It is critically important that these diverse realities are respected. Concepts that are of value in one society are often not appropriate for other societies having different value systems.

The aim of this bulletin is to introduce concepts and methods of risk assessment, along with perceived benefits and limitations, and to present the results of a survey of some current applications from member countries of ICOLD. The presentation aims to be neutral and balanced. Risk analysis and assessment for dam safety is in its infancy and needs to be further developed with more research, and following a more mature understanding of the concepts, which is reached through informed discussion among the interested professional people.

Thus, this document represents an initial airing of risk assessment concepts, with a view to promoting the necessary further discussion and development of concepts and methods. The situation is dynamic, and the content of this bulletin will need to be revised, expanded and its intent better founded as more people get involved and knowledge increases. That knowledge will come from experience, research and discussion.

A difficulty faced in the preparation of the bulletin, was the level of language to be used. If the language was basic, the bulletin would be of no interest to the reader experienced in risk assessment concepts. However, the difficulties of advanced language for those not familiar with risk assessment are recognized. The document is written from the perspective that the experienced reader will recognize the essential elements have been covered whereas the inexperienced reader, who follows the text and the advice, will gain a fuller appreciation of risk assessment after having reviewed the references.

Since risk assessment for dams is in its infancy, this bulletin cannot serve as a code or manual of established practice, despite the natural clamour of many for a document that gives detailed guidance. The profession must first deal with the fundamental concepts, and must find the proper role for risk assessment in dam safety management within each country’s social context.

Nevertheless, despite this need for further development, some owners, regulators and professional practitioners believe that appropriate application of risk

application des principes de l'évaluation des risques renforçant les approches traditionnelles est un atout pour les programmes de sûreté des barrages. Toutefois, puisque ces nouvelles méthodes d'évaluation des risques n'ont pas encore été largement acceptées, et si les impacts potentiels d'une rupture de barrage sont importants, il est souhaitable que les processus de décision soient transparents, dans la concertation, à condition que les valeurs culturelles de la société concernée soient favorables à une consultation de la communauté.

L'évaluation des risques cherche à répondre aux questions que se posent les propriétaires de barrages, les parties concernées et la société en général. Elle dessine un cadre dans lequel ces questions seront étudiées. Ce cadre est toujours influencé par le contexte de décision – ce qui doit être décidé – et l'environnement de cette décision. Les pratiques traditionnelles de l'ingénierie des barrages rentrent dans ce cadre. Les ingénieurs des barrages ont toujours été conscients de cette incertitude, et l'on prise en compte soit de manière intuitive, soit, indirectement, en utilisant les méthodes largement acceptées de l'analyse traditionnelle, par exemple les coefficients de sécurité ou le surdimensionnement. L'évaluation des risques essaie de traiter l'incertitude de manière explicite et transparente – c'est son objectif essentiel.

Il est important de noter que l'évaluation des risques fournit un outil pour quantifier le degré de surdimensionnement inhérent au jugement technique, et les sources principales d'incertitude qui peuvent influencer les décisions d'investissement pour la sécurité des barrages. L'évaluation des risques utilise mieux la fourchette de valeur des paramètres qui affectent la sécurité que la démarche traditionnelle basée sur la normalisation. Pour effectuer une évaluation des risques, l'analyste doit connaître le projet en détail, ainsi que les principes d'ingénierie sous-jacents utilisés pour mesurer la performance actuelle et prévoir la performance future. Pour les barrages existants, ceci implique de réexaminer soigneusement les concepts de construction, les caractéristiques des matériaux, les sources de dégradation des performances (fatigue, érosion, cycle gel/dégel), les modes de défaillance possibles et les conséquences des niveaux de performance. L'un des grands bénéfices de l'évaluation des risques est une meilleure connaissance des performances du barrage/projet.

Les différentes sections de ce bulletin s'adressent suivant les cas aux maîtres d'ouvrage, aux autorités de contrôle ou aux professionnels. Les sections 2, 4 et 5 sont destinées aux trois groupes. Les sous-sections 3.1 et 3.2 sont destinées en priorité aux professionnels effectuant des analyses de risque. Les sous-sections 3.3 et 3.4 sont destinées avant tout aux propriétaires de barrages et aux autorités de contrôle. Nous vous suggérons cependant de lire tout le bulletin pour avoir une image d'ensemble. Ce bulletin présente également un intérêt pour les organismes d'alertes, responsables des mesures pour atténuer les conséquences d'une rupture de barrage.

Il est important de noter que le bulletin traite les dangers naturels ou d'origine humaine, ainsi que les risques technologiques des barrages. Il ne peut aborder d'autres types de risque, comme les risques politiques, ni les jugements de valeur, qui influencent inévitablement la pondération accordée aux différents types de risques, pertes financières comparées à la disparition d'écosystèmes ou d'espèces menacées par exemple, ces considérations entrant souvent dans la prise de décision

assessment principles, as an enhancement of the traditional approaches, is already of benefit to dam safety management programs. However, especially since these new formal methods of risk assessment for dams do not yet have wide acceptance, in cases where the potential impacts of dam failure are significant, it is desirable that decision processes are transparent and consultative, provided the cultural norms of the society in question are amenable to community consultation.

Risk assessment seeks to answer the questions that are in the minds of dam owners, other stakeholders and society generally. It provides a framework for answering those questions. The framework is always conditioned by the decision context – what it is that must be decided and the environment in which the decision must be made. Traditional dams engineering practice fits within this framework. Dams engineers have always been conscious of uncertainty and have taken it into account either intuitively or, indirectly, by following the widely accepted methods of traditional analysis, such as the use of safety factors or conservatism. Risk assessment seeks to deal with uncertainty explicitly and transparently – that is its essential aim.

Importantly, risk assessment provides a means to quantify the degree of conservatism inherent in engineering judgement and to identify key sources of uncertainty that can influence dam safety investment decisions. Risk assessment can more fully utilise the range of values for parameters that affect safety than does the traditional standards-based approach. In undertaking risk assessment, the analyst requires a detailed understanding of a project and the underlying engineering principles used to measure current performance, and to predict future performance. For existing dams, this generally leads to a careful re-examination of design concepts, materials parameters, sources of degradation in performance (fatigue, erosion, freeze-thaw), possible failure modes, and consequences associated with performance levels. This better understanding of dam/project performance is one of the great benefits of a risk assessment.

The different sections of this bulletin are directed variously to dam owners, regulators or professional practitioners. Sections 2, 4 and 5 are directed to all three groups. Sub-sections 3.1 and 3.2 are directed primarily to the professional practitioners who undertake risk analyses. Sub-sections 3.3 and 3.4 are directed primarily to dam owners and dam safety regulators. Nevertheless, it is important that the bulletin is read in its entirety and interpreted as a coherent whole. The bulletin would also be of interest and value to the emergency response authorities, which are responsible for planning to mitigate the consequences of dam failure.

It is necessary to note that this bulletin deals only with natural and human hazards and the technological risks of dams. The bulletin cannot deal with other types of risks, such as political risks, nor with the value judgements, which inevitably influence the weighting given to risks of varying types, such as, the relative weights to be given to monetary loss compared with loss of natural habitats and endangered species, though such aspects may often be a consideration in decision-making for

pour les barrages. Par exemple, un gouvernement, prenant en compte les risques politiques et le poids de l'opinion publique, peut décider de garder en service un barrage vieillissant, malgré des risques normalement considérés trop élevés, à cause de son importance pour l'économie régionale et le maintien des emplois. L'allocation des ressources entre des besoins sociétaux antinomiques, par exemple en comparant la réduction des risques liée à un barrage plus sûr avec la réduction des risques liée à des services de santé plus performants ou un système routier plus fiable peut être également prise en compte lors de la décision. Les disciplines techniques n'ont pas vocation particulière à proposer une solution aux différents problèmes que nous venons d'évoquer. C'est pour cette raison que les résultats de l'évaluation des risques, telle qu'elle est traitée dans ce bulletin, sont des recommandations pour aider les décideurs. Suivant les législations locales, la décision finale concernant la sécurité d'un barrage peut impliquer des considérations qui vont au-delà du cadre de ce bulletin.

De plus, l'accent est mis sur les risques de rupture de barrage, bien que ces derniers comportent d'autres risques (voir, par exemple, CIGB 1992).

Le bulletin, par nécessité, ne donne qu'une vue d'ensemble des principes de l'évaluation des risques. Pour permettre au lecteur intéressé d'acquérir des connaissances plus détaillées, les références citées dans la section 3 donnent des sources autorisées sur les principes génériques de l'appréciation des risques. Ces références ne sont, en général, pas spécifiques aux barrages. Elles sont listées sous « 7.1 Références – Généralités » dans la section 7.

En réponse à l'enquête sur les applications actuelles, présentée dans la section 4, les pays membres de la CIGB fournissent des références complètes traitant les applications de l'évaluation des risques aux barrages. Ces références, et d'autres associées à la section 4, sont listées sous « 7.2 Références – fournies en réponse à l'enquête sur les applications actuelles ». Finalement, il est recommandé au lecteur de consulter les Volumes I et V des actes du 20<sup>e</sup> Congrès sur les grands barrages (CIGB, 2000), qui comprend des articles et des discussions sur la question 76 traitant de l'évaluation des risques pour les barrages.

dams. For example, a government – in consideration of political risk and the weight of societal opinion - might decide to keep an ageing dam in service, though its risks would normally be considered too high, because of its importance to the regional economy and to maintenance of jobs. Allocation of resources among competing societal needs, such as, weighing risk reduction through safer dams against risk reduction through improved health services or risk reduction through safer highways, may also be a consideration in decision-making. The knowledge-based technical disciplines have no special claim in the solution of the various problems just outlined. For these reasons, the output of risk assessment, as dealt with in the bulletin, is a decision recommendation to the decision-maker. Depending on the jurisdiction in any particular case, the final decision on the safety of a dam may involve considerations, which are beyond the scope of this bulletin.

Moreover, the emphasis is on risks from dam failure, whilst recognising that dams do give rise to other risks (see, for example, ICOLD 1992).

The bulletin, of necessity, gives only a high level overview of the principles of risk assessment. To assist the interested reader to gain more detailed knowledge of these principles, the references, which are cited in Section 3, provide authoritative treatment of the generic principles of risk assessment. These references are generally not specifically related to dams. They are listed under “7.1 References – General” in Section 7.

In response to the survey of current applications, reported in Section 4, member countries of ICOLD provided extensive references dealing with applications of risk assessment to dams. These references, and others relating to Section 4, are listed under “7.2 References – Provided in Response to the Survey of Current Applications”. Finally, the reader is directed to Volumes I and V of the Proceedings of the 20th Congress on Large Dams (ICOLD, 2000), which includes papers and discussion on Question 76 dealing with risk assessment for dams.

---

## 2. PANORAMA DE L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA GESTION DE LA SÛRETÉ DES BARRAGES

---

### 2.1. HISTORIQUE

La construction, l'exploitation et la maintenance des barrages ont apporté dans la plupart des cas un bénéfice net à l'humanité. L'existence de situations pour lesquelles les prévisions n'ont pas été totalement exactes, ou pour lesquelles des phénomènes naturels non prévus ont réduit les bénéfices envisagés, ne suffit pas à remettre en question cette affirmation.

Une esquisse de l'historique illustre pourquoi l'humanité a construit des barrages, et pourquoi elle continue à les entretenir ou à en construire de nouveaux, toujours très nombreux.

Une rivière naturelle s'écoulant dans sa vallée peut permettre la vie d'une petite population et d'un écosystème. La rivière limite la population et met en danger ses moyens d'existence lors des crues pendant les saisons humides et les étiages de la saison sèche. On peut échapper aux crues en s'installant sur des terres plus élevées, faisant ainsi un compromis entre l'effort de transport de l'eau et les risques de crues. Le problème des étiages est moins facile à résoudre.

Barrer la rivière pour stocker de l'eau destinée aux périodes sèches est un grand progrès, si l'on prend soin de permettre aux crues de s'écouler au-dessus ou à travers le barrage. La fiabilité accrue de l'alimentation en eau pendant une période de l'année plus longue améliore considérablement les rendements de l'agriculture. L'investissement dans les systèmes d'irrigation peut être défendu sur la seule base d'une alimentation en eau plus stable. La population, en meilleure santé et en constante progression, a désormais besoin d'un barrage plus grand pouvant retenir plus d'eau. Dès lors, la hauteur de chute accrue permet une production d'énergie efficace. La disponibilité constante d'eau et d'énergie apporte de plus en plus de richesses, permettant le développement de la population, dont une partie vit en aval du barrage.

D'autre part, la capacité accrue du réservoir réduit également l'impact des crues sur la zone aval, mettant à disposition plus d'espace de vie qu'avant la construction du barrage. Ensuite, les possibilités de loisir offertes par le plan d'eau peuvent même renforcer l'attractivité de la vie à proximité.

Ainsi, actuellement, la population à l'aval du barrage vit en gardant en mémoire cette histoire. Ces personnes pensent rarement à la possibilité lointaine d'une rupture de barrage dont, au contraire, elles apprécient les bénéfices.

Aujourd'hui, par contre, l'éventualité, même éloignée, d'une rupture inquiète les ingénieurs des pays membres de la CIGB. C'est la catastrophe qu'une onde de crue entraînerait dans la vallée densément peuplée en aval du barrage, et non pas une défiance particulière envers la sécurité du barrage, qui provoque ces

---

## 2. OVERVIEW OF RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT

---

### 2.1. HISTORICAL DEVELOPMENT OF DAMS

The construction, operation and maintenance of dams have, in most cases, been of net benefit to mankind. This cannot be refuted by pointing to the cases where the planning predictions have not been fully realized or where unforeseen natural effects have reduced the predicted benefits.

A short sketch of the historical development illustrates why mankind built dams and still intends to maintain and construct them in the future to some considerable extent.

A natural river flowing down a valley can sustain the living of a few people and their environment. The river limits the population and threatens their livelihood by increased water levels and discharges during the wet season and by lack of water during the dry season. The first problem can be reduced by choosing higher ground on which to settle, weighing the cost of transporting water against the risks of flooding. The second is less easily solved.

Damming the river and storing the water behind for use during dry periods was a great innovation, provided that floods could be passed over or through the dam when needed. The increased reliability of the water supply over a longer part of the year improved agricultural yields considerably. Investments in irrigation systems could be defended on the basis of the more stable water supply. The healthy and growing population required and could afford to increase the size of the dam and the related storage capacity. This was especially true, because the higher head improved power generation. The continuous availability of water and power formed the basis for increasing wealth which allowed human development and a further increase in the number of people, many of whom lived downstream of the dam.

Moreover, the increased capacity of the reservoir had also reduced the severity of flooding of the downstream area, thus adding to the availability of safer living space than was available before construction of the dam. In recent times the recreational possibilities of the reservoir may even have enhanced the attractiveness of living in the neighbourhood of an existing dam.

So, for various reasons, the population downstream of a dam has grown in living memory. These people seldom think of or discuss the remote possibility that the dam may fail, but they enjoy its benefits.

However, the remote prospect of failure is a matter of concern to engineers in the ICOLD community. This concern arises from the enormous havoc that the flood wave would make in the densely populated valley downstream of the dam, and not by any general lack of trust in the safety of dams. The engineers know from

inquiétudes. Les ingénieurs savent, de par leur formation et l'expérience de plusieurs années d'exploitation des barrages, qu'en moyenne, pour une année, moins d'un barrage sur 10 000 grands ouvrages subit une rupture. La catastrophe qui s'ensuit peut néanmoins dépasser les limites de l'imagination. Les ingénieurs admettent cette éventualité, et connaissent les mécanismes de rupture, et les mesures techniques appropriées à apporter. La question est donc posée : « Quel niveau de sécurité donner aux nouveaux barrages ou à ceux qui existent déjà », une décision qui, vu les impacts potentiels sur les tiers, ne doit pas uniquement prendre en compte des considérations techniques, mais également le niveau de risque tolérable pour les populations.

## **2.2. PRISE EN COMPTE DES RISQUES ASSOCIÉS À UNE RUPTURE DE BARRAGE ET À LA CRUE CATASTROPHIQUE ASSOCIÉE**

Depuis les années 1960, un nouveau domaine de connaissances a été développé sous les noms de gestion du risque, théorie de la fiabilité ou encore analyse des risques. Ces théories découlent du besoin de déployer en toute sécurité les technologies modernes comme l'aviation, les grandes usines chimiques et les centrales nucléaires. Il apparaît judicieux d'étendre l'application de ces méthodes de gestion des risques aux barrages pour différentes raisons :

- De nombreux barrages ont atteint sans problème l'âge prévu à la conception et la société prévoit d'utiliser ces ouvrages pour au moins 50 années supplémentaires ou plus (en réalité, on essaie en permanence de prolonger leur durée de vie). La maintenance est obligatoire pour des ouvrages ayant une telle durée de vie. Des rénovations ou renforcements plus exigeants que ceux qui sont traditionnellement conseillés pour une surveillance dans le cadre d'une démarche basée sur la normalisation peuvent être indispensables si la probabilité de rupture et ses conséquences sont évaluées selon des critères de risques tolérables cohérents avec ceux employés pour d'autres technologies.
- La nouvelle génération d'ingénieurs, ayant moins d'expérience dans la conception et construction de nouveaux barrages, hérite de la responsabilité de l'exploitation et de la sûreté des barrages existants.
- Comme indiqué plus haut, les sociétés modernes exigent que des évaluations de sécurité documentées soient effectuées pour les activités impliquant une menace pour les populations qui vivent ou travaillent à proximité.
- La nécessité d'une évaluation régulière de la sécurité devient plus pressante quand la croissance de la population et les investissements en aval augmentent les conséquences d'une rupture, quand l'utilisation du barrage évolue suite à une demande de plus en plus importante, quand le vieillissement commence à jeter un doute sur la fiabilité de l'ouvrage ou quand les changements climatiques conduisent à des crues plus importantes.
- Suite à la dérégulation et aux privatisations, les barrages peuvent être rachetés par des organismes sans expérience d'ingénierie, mais désirant une bonne rentabilité. Ces développements peuvent exercer une pression sur les

engineering education and from the experience of many years of dam operation, that, on average, in any year, less than one dam out of every ten thousand large dams fail. The ensuing catastrophe could, however, be beyond human imagination. Dam engineers recognise this possibility, and have knowledge of dam failure mechanisms and how to engineer against them. This leads to the question of how safe to make new or existing dams, a decision which, given its potential consequences to third parties, many would say should not be based purely on engineering considerations, but should consider the level of risk that is tolerable to the general public.

## **2.2. ADDRESSING THE RISKS ASSOCIATED WITH DAM-BREAK AND FLOOD**

Since the 1960's a new body of knowledge has been developed under such names as risk management, reliability theory and risk analysis. These theories were deemed necessary to safely deploy modern technologies like aviation, large-scale chemical plants and nuclear power generation stations. It seems reasonable to extend the application of these risk management methods to dams for several reasons:

- Many dams have safely reached their (“designed”) middle age and society intends to employ these structures for at least another 50 years or more (in fact, permanent life extension is often an objective). Maintenance is mandatory for structures with such a long life. Rehabilitation and strengthening, more demanding than any indicated by a review of safety using the traditional standards-based engineering approaches, may be required if the probability of failure and the consequences are evaluated using tolerable risk criteria, which are consistent with those used for other technologies.
- The new generation of engineers with little experience in the design and construction of new dams has to take over the responsibility for the operation and safety of existing dams.
- As stated above, modern societies demand that documented safety evaluations be carried out for activities that impose threats on the population, which live or work nearby.
- The need for a regular safety evaluation becomes more pressing when the growth of the downstream population and investment increases the consequences of dam failure, when the usage of the dam changes due to developing demands, when the ageing process begins to shed doubt on the reliability of the structure or when climate change leads to larger floods.
- Deregulation and privatisation may introduce new dam owners, without a background in dams engineering, who have an increased focus on profitability. This development could exert pressure on the resources

ressources disponibles pour l'exploitation et le maintien des barrages dans des bonnes conditions de sécurité.

- Si une rupture de grand barrage survient quelque part dans le monde, l'opinion publique va remettre en cause la sécurité des barrages en général. Dans ce cas, la démonstration doit pouvoir être faite que le niveau de surveillance et de maintenance du barrage est suffisant pour minimiser la probabilité d'une rupture, et que des mesures sont en place pour atténuer les conséquences d'une telle rupture.

Quoique la probabilité de rupture pour un barrage bien conçu et bien construit soit très faible, les conséquences peuvent être très importantes et très variées. On pourrait déplorer les pertes d'un nombre considérable de vies humaines, une grande partie des biens de la zone menacée pourraient être atteints, tout revenu serait perdu dans un avenir immédiat, à cause de pertes et perturbations extraordinaires, le patrimoine et les ouvrages disparaîtraient et la force de l'eau ainsi que les substances toxiques libérées par les installations endommagées porteraient gravement atteinte à l'environnement.

Pour simplifier le tableau compliqué des conséquences d'un tel désastre, et pouvoir le traiter par des analyses quantitatives, il est courant de ne caractériser que certaines des pertes tangibles les plus facilement mesurables. Dans un grand nombre de cas pratiques, seule la perte de vies humaines est prise en compte. Dans d'autres cas, la description des dommages est limitée à l'évaluation financière des pertes matérielles, pour éviter d'aborder la question du nombre des personnes qui ne survivraient pas à une rupture grave.

Les conséquences d'un risque sont principalement liées aux impacts quantifiables d'une rupture, approche commune en ingénierie. Cependant, on doit réaliser que cette caractérisation en termes de victimes et/ou de dommages économiques ne représente pas obligatoirement la perception des pertes potentielles par l'opinion publique. L'objectif de la schématisation est de clarifier le raisonnement, même si la précision y perd, en décrivant la nature et l'échelle réelle des impacts comme l'opinion peut la comprendre.

Lorsque l'on communique avec le grand public, il est important de reconnaître que les conséquences humaines immatérielles d'une rupture provoquent également l'anxiété des populations, malgré leur absence dans la quantification des pertes effectuée par l'analyste des risques.

### **2.3. QU'APPORTE L'ÉVALUATION DES RISQUES À L'INGÉNIERIE TRADITIONNELLE ?**

L'évaluation des risques est présentée dans ce bulletin comme des compléments aux pratiques traditionnelles, et en aucun cas comme un remplacement. La conception technique peut être considérée principalement comme un processus de prise de décision compliquée utilisant toutes les données disponibles. Comme ces données sont toujours limitées par le temps, le budget ou autres contraintes physiques, ces décisions doivent être prises avec un facteur d'incertitude. Agir avec un facteur d'incertitude fait tellement partie de leur métier

available for operating and maintaining dams in an adequately safe condition.

- If somewhere in the world a major dam fails, the general public would question the general safety of dams. In that event, the reasoning should be in place to demonstrate an appropriate level of care and maintenance of the dam, such that the probability of failure is very remote, and that measures were in place to mitigate the consequences of dam failure.

Although the probability of failure of well-designed and constructed dams and dikes is very remote, the consequences can be extremely varied and large. Considerable numbers of people could lose their lives, most of the property in the threatened area would be damaged, income in the immediate future would be lost due to the incredible loss and disturbance, heritage and works of art could vanish and the environment would be threatened directly by the force of the water and indirectly by the release of toxic substances from installations damaged by the flood waters.

To simplify this complicated picture of the consequences of such a disaster, and to make it amenable to quantitative analysis, it is common to characterise only some of the more easily measurable tangible losses. In many practical cases, consideration is limited exclusively to the loss of life. In other cases, the description of the damage is limited to the estimation of the material loss in monetary units, to avoid the sensitive discussion of the number of threatened population that might not survive a major failure.

If the consequence part of a risk is mainly related to quantifiable impacts of a failure, as is common in engineering approaches, it should be realised that this characterisation of the consequences in terms of casualties and/or the economic damage may not adequately represent the public's perception of the potential loss. The aim of the schematisation is to clarify the reasoning at the cost of accuracy in portraying the true scale and nature of the impacts, as understood by society as a whole.

When one communicates with the general public, it is important to recognise that the unquantifiable and intangible human consequences of dam failure would also be of great concern to the population, though these consequences do not feature in the risk analyst's quantified characterisation of the losses.

### **2.3. WHAT DOES RISK ASSESSMENT ADD TO TRADITIONAL ENGINEERING?**

Risk assessment is presented in this bulletin as an enhancement to traditional practice and not in any sense as a replacement. Engineering design could essentially be seen as a process of making complicated decisions using all available data. Because the data are always limited by time, budget or physical constraints, these decisions have to be made under uncertainty. Dealing with uncertainty is such an intrinsic part of their work that many managers and designers do not give this conscious consideration. Some overlook the fact that the main part of their work is

que de nombreux gestionnaires ou concepteurs le font sans en prendre vraiment conscience. Beaucoup ne se rendent pas compte que la plus grande partie de leur travail consiste à gérer les risques.

Dans la démarche traditionnelle, l'incertitude est prise en compte en prenant des valeurs extrêmes pour les contraintes, des valeurs surdimensionnées pour les résistances, et en appliquant des coefficients de sécurité. De manière alternative, des mesures de défense reconnues font partie de la conception des barrages. Tout ceci est intégré dans les pratiques établies. Les aspects les plus subtils de cette approche sont basés sur l'intuition, et sont souvent appelés « bon sens technique ».

La première question consiste à se demander si le barrage produira assez d'énergie ou s'il retiendra la quantité d'eau nécessaire : c'est sa première fonction. Par sa simple présence, le réservoir constitue une menace supplémentaire en cas de rupture. Dans les deux cas, le concepteur doit prendre des décisions avec un facteur d'incertitude, d'une part en pondérant intuitivement les différents aspects, d'autre part en utilisant des valeurs surdimensionnées (basée sur l'expérience) pour certaines variables, en se fiant à des travaux précédents effectués par lui ou par des collègues.

Cette approche a fait ses preuves, comme le démontre l'historique des barrages au niveau international. Toutefois, l'autosatisfaction n'est pas de mise. On peut citer de nombreux exemples de nouveaux défis et problèmes pour lesquels l'expérience d'ouvrages antérieurs n'est pas suffisante, ou pour lesquels l'application de marges de sécurité basées sur l'expérience ne suffit pas ou n'est pas rentable.

Les méthodes traditionnelles se concentrent sur la sécurité, et leurs performances au cours de l'histoire de la construction de barrages sont exceptionnelles. L'évaluation des risques se concentre sur les relations entre les niveaux de performance et les conséquences, et permet donc à l'ingénieur de mieux présenter aux décideurs les risques réels humains et économiques associés aux investissements.

Lorsque l'on utilise les méthodes probabilistes, l'incertitude est prise en compte explicitement sous forme d'une distribution de probabilités. Cette approche permet de traiter des incertitudes inhérentes ou naturelles, pouvant être analysées statistiquement, ainsi que les incertitudes dues à l'absence d'information ou de connaissances, l'estimation des probabilités se limitant parfois à l'opinion de l'expert.

Ces incertitudes sont propagées à travers le système pour obtenir une estimation quantitative de la probabilité de défaillance, et la probabilité des conséquences indésirables (allant du manque d'eau ou d'énergie jusqu'à une onde de rupture).

L'application des méthodes probabilistes en analyse des risques fournit également une meilleure compréhension de la façon dont les différents types de mesures structurelles ou non structurelles peut réduire les risques de défaillance, et donc améliorer la confiance dans l'efficacité d'un choix plus large de mesures de réduction des risques. On doutait souvent de l'efficacité des mesures non structurelles (voir CIGB 2001), destinées à améliorer la sécurité dans la démarche traditionnelle. Désormais, on peut démontrer en utilisant l'analyse des probabilités, des conséquences et des incertitudes, qu'elles jouent un rôle dans la réduction des risques, même s'il est distinct de celui des mesures structurelles.

risk management.

In the traditional approach, uncertainty is tackled by taking extreme values for the loads, conservatively safe values for resistance variables and applying safety coefficients. Alternatively, recognised defensive design measures are incorporated in dam designs. Most of this is embodied in established practice. The more subtle aspects of this approach are based on intuition, and are often referred to as “engineering judgement”.

In the first place, there is the question of whether the dam will serve to generate sufficient power or will conserve the necessary amount of water. This is the dam’s main function. By being present however, the body of stored water additionally poses a threat in case of failure. In both respects, the designer has to take decisions under uncertainty, partly by weighing intuitively the issues at hand and partly by taking conservative values (based on empirical knowledge) for certain variables, relying on previous work by the designer or others.

This approach has served well, as the international dam safety record shows. However, complacency should be avoided. Examples abound of new issues and new problems, where the experience of previous work does not provide an adequate guide, or where the applicability of safety margins rooted in experience may be unproven or uneconomic.

Traditional methods focus on safety and have resulted in a history of dam designs that have a great record of performance. Risk assessment methods focus on relating performance levels to consequences and thus allow an engineer to better demonstrate to decision-makers the real human and economic risks associated with investment decisions.

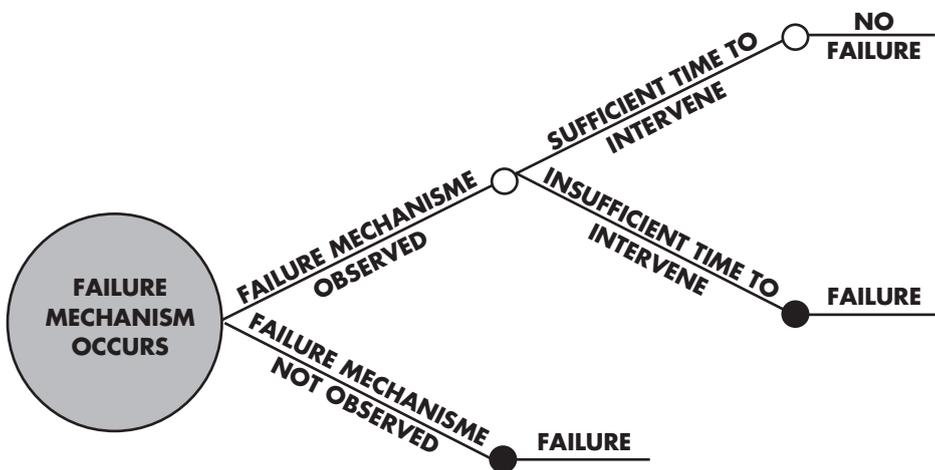
When use is made of probabilistic methods, the uncertainties are explicitly taken into account by expressing them as probability distributions. This approach is a way of dealing with inherent or natural uncertainty, which can be statistically analysed, as well as uncertainty due to lack of information or knowledge, where the basis for estimation of probabilities is sometimes limited to expert opinion.

The uncertainties are propagated through the system to get a quantitative estimate of the probability of failure and the likelihood of associated unwanted consequences (be it lack of water or power or a dam-break flood).

The application of probabilistic methods in risk analysis also provides an improved understanding of the unique way in which different types of structural and non-structural measures can reduce dam failure risks, thereby giving greater confidence in the effectiveness of a wider choice of risk reduction measures. Non-structural measures (see ICOLD 2001), which in the traditional approach were felt to enhance safety, but often with concerns for their reliability, can now be demonstrated, by formal analysis of likelihood, consequences and uncertainties, to have a role in reducing risk, which is distinct from that offered by structural measures.

Voici des exemples de méthodes améliorées d'estimation de l'efficacité de la réduction des risques :

- L'amélioration des prévisions de précipitations sur le bassin versant augmentera la probabilité d'une utilisation en toute sécurité des vannes de déversoir en cas de crue ;
- La surveillance améliorera la sûreté du barrage si des actions préventives sont prévues, et mises en œuvre lorsque les observations montrent que le risque potentiel de défaillance s'accroît. La défaillance ne se produira pas lorsqu'un processus se met en route ET qu'il est observé ET que le temps est suffisant pour une intervention stoppant ce processus et évitant la défaillance (voir le logigramme Fig. 2.1) ;
- Le fait que le barrage ait fonctionné en toute sécurité pendant de nombreuses années peut être utilisé scientifiquement dans la réévaluation du niveau de sécurité du barrage. Il peut être prouvé, et démontré statistiquement, que la plupart des incidents et défaillances se produisent durant le premier remplissage du réservoir, ou peu de temps après ;
- Un fonctionnement fiable des vannes des évacuateurs est souvent fondamental pour la sûreté du barrage. Il existe désormais des méthodes permettant de mieux analyser la fiabilité du matériel, du logiciel et du personnel dans les systèmes de vannes, et donnant une confiance plus grande dans l'efficacité de ces systèmes souvent complexes, que celle pouvant être acquise par un simple jugement technique ;
- Une organisation adaptée, la formation des personnels, des systèmes d'exploitation fiables et une automatisation adéquate contribuera à la sécurité en réduisant la probabilité d'une erreur humaine. Ces aspects de la gestion de la sécurité doivent être intégrés à la conception, et leur fiabilité maintenue au même niveau que celle de l'ouvrage lui-même.



Examples of improved opportunities for estimating the effectiveness of risk reduction are:

- Improving the forecasting of rainfall in the catchment, will increase the likelihood that spillway gates can be operated to safely pass the flood;
- Monitoring will improve dam safety, if appropriate preventative action is planned and taken when observations show that there is a condition with the potential for failure. Failure will now not occur when a failure mechanism develops, AND this is observed, AND there is sufficient time for intervention that will arrest the mechanism and prevent failure occurring (see the logic diagram Fig. 2.1);
- The fact that a dam has already functioned safely for many years can be used scientifically in the re-evaluation of the dam's safety. It can be proven, as well as statistically shown, that most incidents and failures occur during the first reservoir filling or shortly thereafter;
- Reliable operation of spillway gates is often critical for dam safety. Methods to better analyse the reliability of the hardware, software and liveware aspects of spillway gate systems are now available, thereby providing greater confidence in the effectiveness of these often complex systems than can be gained from engineering judgement alone;
- Proper organization, staff training, reliable operating systems and adequate automation will contribute to safety by reducing the probability of human error. These dam safety management aspects must be designed, and their effectiveness maintained, with the same level of reliability in mind as for the structure itself;

Fig. 2.1  
Logic Diagram for Monitoring and Intervention  
*Logigramme pour la surveillance et l'intervention*

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Failure mechanism occurs       | <i>Le mécanisme de défaillance survient</i> |
| Failure mechanism observed     | <i>Mécanisme de défaillance repéré</i>      |
| Failure mechanism not observed | <i>Mécanisme de défaillance non-repéré</i>  |
| Sufficient time to intervene   | <i>Temps suffisant pour intervenir</i>      |
| Insufficient time to intervene | <i>Temps insuffisant pour intervenir</i>    |
| No failure                     | <i>Pas de défaillance</i>                   |
| Failure                        | <i>Défaillance</i>                          |

- La planification des zones constructibles dans la vallée aval peut faire partie d'une stratégie intégrée de gestion de sécurité, dès que l'on n'exclut pas une probabilité (très faible) de rupture du barrage. D'autre part, dans la plupart des sociétés, un barrage plus sûr est exigé si une population nombreuse ou des investissements importants sont situés en aval. La démographie des régions en aval de nombreux barrages a fortement évolué, ce qui entraîne des contraintes opérationnelles supplémentaires. Ces changements ont été causés par l'accélération du développement en aval, les problèmes environnementaux ou d'utilisation de l'eau, et ont entraîné des réductions des niveaux de protection sur de nombreux aménagements, et des problèmes de sécurité supplémentaires.
- L'alerte et l'évacuation programmées des populations en aval, si la surveillance indique une possibilité de défaillance, améliorent la sécurité (voir le projet RESCDAM - Institut Finnois de l'Environnement, 2001).

Cependant, la surveillance n'est pas toujours capable de détecter une condition pouvant entraîner une défaillance. Sur de longs barrages retenant de grands réservoirs, la démarche de surveillance pour détecter des conditions d'érosion interne est toujours en phase de recherche et développement. En Finlande, la surveillance de barrages de plusieurs kilomètres de long à l'aide de câbles optiques est en cours de développement, mais en attendant que cette méthode ou d'autres soient réellement applicables, il est très probable que les défaillances découlant d'une érosion interne ne seront pas détectées à l'avance. Cela signifie que l'alerte ne peut être donnée, ou seulement à très courte échéance, et qu'une évacuation avant l'arrivée de l'onde de crue est impossible.

Il n'y a pas de différence fondamentale dans la procédure de planification et de prise de décision lors de la construction d'un nouveau barrage ou la rénovation d'un barrage existant. C'est la structure coûts/bénéfices qui diffère, et, bien sûr, la nature des options techniques pour réduire les risques.

Les rapports entre les techniques de sécurité traditionnelles sur les barrages, associées à un certain niveau de risque, et les philosophies concernant les niveaux de risque acceptables ou tolérables pour les installations technologiques (dont les barrages), qui ont évolué dans certaines sociétés ces dernières années, constituent un problème très complexe, sensible, et source de controverses. Ce problème ne peut être compris, et partiellement traité, qu'en utilisant des raisonnements probabilistes. Toutes les incertitudes doivent être présentées noir sur blanc pour qu'un compromis explicite puisse être trouvé entre des incertitudes réduites, obtenues par une sécurité renforcée, et l'utilisation des ressources de la société.

La prise de décision bien argumentée sur des bases scientifiques, prenant en compte toutes les incertitudes, tous les coûts et bénéfices, est cruciale dans le processus d'évaluation des risques. Dans ce bulletin, la CIGB peut fournir des indications pour arriver à un processus argumenté et transparent d'évaluation des risques, mais le niveau de risque tolérable doit être déterminé par chaque pays. Les décisions concernant les niveaux de risque tolérables sont liées à différents facteurs, comme la situation géographique, le degré de développement économique, le système de valeurs culturelles et le système politique de chaque pays.

Il est également nécessaire de reconnaître que l'évaluation des risques pour les barrages présente encore des limitations. Les limitations les plus importantes sont :

- Planning of the inhabited areas in the downstream valley could be part of an integrated approach to managing the safety of the dam as soon as the (remote) probability of dam failure is recognised. On the other hand, in most societies, a safer dam is required if a more numerous population or a large invested value is situated downstream. Many dams have seen dramatic changes to downstream demographics, which have led to operational constraints. These changes have been caused by increases in downstream development, environmental and or water usage concerns and have resulted in reduction in the levels of protection provided at many projects, and have caused increased safety concerns;
- The planned warning and evacuation of downstream populations, if monitoring indicates possible failure, enhances safety (see the RESCDAM project - Finnish Environment Institute, 2001).

With regard to monitoring, it is not always possible to detect a condition with the potential for failure. At long dams impounding large reservoirs, a monitoring approach for detecting a developing condition of internal erosion is still in a research and development phase. In Finland, the monitoring of several kilometre long dams with optical cables is under development, but until it or other methods are practically applicable, there is a high likelihood that internal erosion induced failures would not be detected in advance. This would mean that no early warning, or possibly only very short early warning times, would make any evacuation in dry conditions before flood wave arrival impossible.

There is no fundamental difference in the procedure of planning and decision-making if a new dam is designed or an existing dam is remediated. Only the structure of the costs and benefits differs, and of course, the nature of the engineering options to reduce risk.

A very complex, controversial and sensitive issue, which is of great concern to society, is the relation between traditional dam engineering safety and the associated risk levels on the one hand, and the philosophies about acceptable and tolerable risk levels for technological systems (including dams), which have been evolving in some societies in recent years. This concern can only be understood, and partially addressed, by using probabilistic reasoning. All uncertainties have to be exposed to ensure that the trade off can be explicitly made between reduced uncertainty, achieved through increased safety, and the associated use of society's resources.

Well-informed and scientifically based decision-making, which properly takes account of all uncertainties, costs and benefits, is crucial in the risk assessment process. In this bulletin, ICOLD can provide guidance to arrive at a credible, defensible and transparent risk analysis process, but the formulation of guidelines for tolerable levels of risk, must be left to each country. The decisions on tolerable risk levels are related to such factors as the geographical situation, the level of economic development, the cultural values and the political system of each country.

It is also necessary to acknowledge that risk assessment for dams has its limitations at the present time. The key limitations are:

- La difficulté de quantifier de façon fiable la probabilité d'une défaillance ou d'un incident, particulièrement pour les modes de défaillance, comme l'érosion interne, qui résistent à l'analyse ;
- La difficulté d'estimation des conséquences d'une défaillance et des incertitudes associées, comme les pertes de vies humaines, les pertes financières indirectes et les impacts sur l'environnement ;
- L'absence d'une méthodologie largement reconnue et acceptée pour déterminer les risques tolérables, notamment ceux qui concernent la sécurité des personnes ;
- L'absence d'une acceptation générale du concept de risque tolérable et de ses différents degrés, adaptée à chaque pays.

Il serait nécessaire d'engager des recherches pour réduire ou supprimer ces limitations et permettre ainsi le développement de l'évaluation des risques pour les barrages.

## **2.4. IMPORTANCE DU CONTEXTE DE DÉCISION POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES**

Le processus de prise de décision commence généralement lorsque les connaissances concernant un barrage ou un ensemble de barrages sont insuffisantes, ou lorsqu'il existe un écart entre les niveaux réel et désiré de sécurité. Une série d'options pour améliorer la connaissance du système, ou son fonctionnement en conditions normales ou extrêmes est établie, des priorités sont proposées et des recommandations sont faites par les ingénieurs aux décideurs, qui prennent finalement l'option la plus avantageuse.

Lors de ce processus de décision, il faut s'assurer en général que les valeurs sociétales sont prises en compte. La société attend de ces décisions qu'elles soient optimales en termes de coût et bénéfice.

Dans de nombreux cas, les résultats principaux de la décision sont codifiés sous forme de lois ou de réglementations. L'application de ces normes définira alors automatiquement le degré désiré de sécurité pour un barrage lors des opérations de routine du processus de réglementation.

Dans d'autres cas, lorsque certaines parties pensent qu'une de leurs préoccupations n'est pas prise en compte par l'organisme officiel, ou lorsqu'un tel organisme n'existe pas, des informations supplémentaires doivent être échangées. Suivant le pays, les processus politiques doivent répondre à ces besoins d'information pour éviter des réactions déstabilisantes.

Lorsque le barrage appartient ou est exploité par le secteur privé, des critères supplémentaires doivent être pris en compte. C'est alors la philosophie d'entreprise du propriétaire qui va influencer le flux d'information en provenance de l'évaluation des risques, et guider le processus de décision. Le respect de l'image d'entreprise, sa rentabilité et la continuité des activités commerciales vont limiter, ou changer la série d'options générées. Ceci est évident si l'on pense à l'importance de la

- The difficulty in reliably quantifying the probability of failure or an incident, particularly for those failure modes, such as internal erosion, that are not amenable to analysis;
- The difficulty in estimating the consequences of dam failure and the associated uncertainties, particularly such consequences as loss of life, indirect monetary losses and environmental consequences;
- The lack of a widely recognised and accepted methodology for determining tolerable risks, particularly for life safety risks;
- The lack of broad societal acceptance of the concept of tolerable risk and of the levels of tolerable risks appropriate to each country.

Research to reduce or overcome these limitations is an important need in further developing risk assessment for dams.

## **2.4. THE IMPORTANCE OF THE DECISION CONTEXT TO RISK ASSESSMENT**

The process of decision-making generally starts when there is insufficient knowledge about a dam or a portfolio of dams, or when some tension is felt between the desired and actual levels of safety. A range of options to improve the knowledge of the system, or its functioning under normal as well as extreme conditions, is generated and these options are prioritised and recommendations are made by dams engineers to decision-makers, who finally choose the most attractive option.

In this decision-making process, it is generally necessary to ensure that societal values are taken into consideration. Society expects these decisions to be optimal in the widest sense of cost and benefit.

For many cases, the preferred decision outcomes are codified in laws or regulations. The application of these norms would automatically define the required level of safety for a dam in the routine operation of the regulatory processes.

In other cases, where some stakeholders feel they have a special concern that is not addressed by the official bodies, or where official bodies such as dam safety regulators do not exist, exchange of additional information is needed. Depending on the country, the political processes have to satisfy these information needs in order to avoid disruptive reactions.

If the dam is privately owned or operated, an additional set of values has to be taken into consideration. Now the owner's corporate philosophy should influence the flow of information from risk assessment and guide the decision process. The corporate image that is to be maintained, the need for profitability and for business continuity will limit or change the set of options that is generated. This can be understood if one realises the importance of the continuous functioning of the dam

continuité de l'exploitation du barrage pour remplir les obligations contractuelles et assurer un flux stable de trésorerie. D'autre part, une défaillance et un impact sur des tiers doivent être considérés comme extrêmement menaçant pour la continuité de l'entreprise.

Ainsi, dans de nombreux cas, un propriétaire du secteur privé sera plus attentif aux risques qu'une entité publique, encore que des problèmes de trésorerie ou de faibles rendements puissent rendre tentante une réduction des efforts de gestion de la sécurité. Dans cette dernière situation, le cadre légal, et parfois la présence d'un organisme régulateur, ainsi que les responsabilités juridiques associées, sont des mécanismes assurant le respect des régulations minimales.

Suivant les pays, et parfois au sein d'un même pays, des variations existeront suivant le degré de développement de l'économie et les systèmes politiques passés et actuels.

C'est la prise en compte des facteurs décrits ci-dessus qui vont définir le contexte et le processus de décision dans chaque cas spécifique, et donc le domaine d'application de l'évaluation des risques et la forme de l'information en sortie.

for a business that has to fulfil its contractual obligations to guarantee the essential, stable cash flow. Also, failure and damage to third parties has to be seen as extremely threatening to corporate continuity

So, in many cases, a private owner will be more risk averse than a public one, although insufficient cash flow or lower profitability may make the reduction of the safety management effort an enticing option. Here the legal framework, and sometimes the presence of a regulatory body, together with the associated potential legal liabilities, are mechanisms to maintain minimum requirements.

Between and within nations, variations will exist due to differences in the degree of development of the economy and past and current political systems.

Consideration of such factors, as outlined above, will define the decision context and process in any particular case, and therefore the scope of a risk assessment and the form of the output information.

---

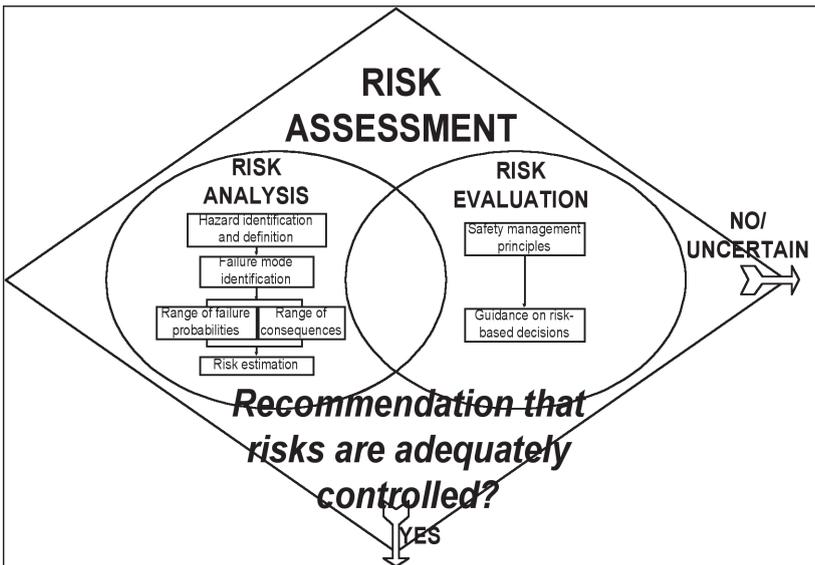
# 3. ÉVALUATION DES RISQUES – DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROCESSUS

---

Le terme de risque implique une certaine forme d'action en face des incertitudes. C'est un terme de signification universelle, mais pouvant être interprété de différentes manières. L'évaluation des risques fournit une base pour la prise de décision, en décrivant la nécessité et l'ampleur des mesures de contrôle du risque. L'analyse des risques (caractérisant ce qui est connu et ce qui est incertain) et l'appréciation des risques (jugant de l'importance des risques) font partie intégrante du processus d'évaluation des risques. Du contexte de prise de décision dépend la forme et l'étendue de la méthode d'analyse des risques adoptée. En conséquence, toute élaboration de procédures d'évaluation des risques destinées à aider à la prise de décision pour la sécurité des barrages doit être menée dans le contexte préexistant. Ces processus varient en général selon les situations, selon les propriétaires, selon les juridictions ; ce qui suit est donc par nature général et non spécifique aux situations individuelles.

## 3.1. CONCEPTS ET PRINCIPES FONDAMENTAUX

L'évaluation des risques, qui permet un examen structuré et systématique de la probabilité d'événements préjudiciables et de leurs conséquences, est l'élément essentiel servant de base à tout le processus de gestion de la sécurité. Le résultat d'une analyse de risques est une construction mathématique transparente de l'incertitude concernant la performance future d'un barrage, cette incertitude s'exprimant en règle générale en termes de probabilités (Cooke, 1991, Morgan et Henrion, 1990, Howson et Urbach, 1993). Dans l'évaluation des risques, on intègre les résultats de l'analyse des risques et des processus de l'appréciation des risques, et on propose des recommandations concernant la nécessité de réduire les risques (Fig. 3.1).



---

## 3. RISK ASSESSMENT – AN OUTLINE OF THE PROCESS

---

The term risk implies some form of action in the face of uncertainty; it is a term of universal significance with several interpretations. Risk assessment provides a basis for making decisions concerning the need for and extent of risk control measures. Risk analysis (characterising what is known and what is uncertain) and risk evaluation (judging the significance of the risk), are integral parts of the risk assessment process. The decision-making context governs the form and extent of the risk analysis method adopted. Therefore, any discussion of risk assessment procedures to support dam safety decisions and management should be carried out within the context of the prevailing decision-making and safety management processes. These processes will generally be different from one situation to the next, from one owner to the next, and from one jurisdiction to the next, with the result that the following material is general in nature and not specific to individual situations.

### 3.1. CONCEPTS AND FUNDAMENTAL PRINCIPLES

Risk assessment, which provides a structured, systematic examination of the likelihood of harmful events and the associated consequences should the events occur, is the essential anticipatory element that underpins the safety management process. The result of a risk analysis is a transparent mathematical construct of the uncertainty in the future performance of a dam, the most common form of this statement of uncertainty being in terms of probabilities (Cooke, 1991, Morgan and Henrion, 1990, Howson and Urbach, 1993). In risk assessment, the results of the risk analysis and risk evaluation processes are integrated and recommendations are made concerning the need to reduce risk (Fig. 3.1).

Fig. 3.1  
Diagrammatic Representation of the Risk Assessment Process  
*Représentation du processus d'évaluation des risques*

|   |   |
|---|---|
| Risk assessment                                     | <i>Évaluation des risques</i>                                       |
| Risk analysis                                       | <i>Analyse des risques</i>  |
| Risk evaluation                                     | <i>Appréciation des risques</i>                                     |
| Hazard identification and definition                | <i>Identification et définition des dangers</i>                     |
| Safety management principles                        | <i>Principes de gestion de la sécurité</i>                          |
| Failure mode identification                         | <i>Identification des modes de défaillance</i>                      |
| Range of failure probabilities                      | <i>Fourchette de probabilités de défaillances</i>                   |
| Range of consequences                               | <i>Fourchette de conséquences</i>                                   |
| Risk estimation                                     | <i>Estimation des risques</i>                                       |
| Guidance on risk-based decisions                    | <i>Conseils pour des décisions orientées risque</i>                 |
| Recommendation that risks are adequately controlled | <i>Recommandation concernant des risques correctement contrôlés</i> |
| Yes   | <i>Oui</i>  |
| No/Uncertain  | <i>Non/Incertain</i>  |

Fondamentalement, l'objectif de l'évaluation des risques est d'aider à la gestion des risques, et notamment au contrôle des risques. La forme et la nature de la procédure d'évaluation des risques dépendent de son utilisation finale, et différentes formes d'évaluation des risques sont utilisées à différents moments du processus de prise de décision. L'évaluation des risques pour les barrages n'est d'ailleurs pas toujours uniquement une question technique, ni commerciale, même si ces points jouent un rôle fondamental dans le processus. Dans de nombreuses situations, c'est également une question concernant le gouvernement et la société dans leur ensemble. Les bénéfices et les risques associés aux barrages ne sont pas répartis équitablement dans la société. L'évaluation des risques demande de trouver des compromis entre différents risques : entre les risques concernant certains individus ou groupes, ou d'autres individus ou groupes, et entre les coûts et les bénéfices.

### **3.2. CONCEPTS ET PROCESSUS D'ANALYSE DES RISQUES**

L'analyse des risques demande une caractérisation scientifique<sup>1</sup> de ce qui est connu et de ce qui est incertain dans le comportement présent et futur du barrage examiné. C'est un processus structuré destiné à estimer non seulement la probabilité de défaillance d'un barrage ou de l'un de ses composants, et l'ampleur des conséquences de la défaillance (souvent, mais pas toujours, restreintes aux conséquences d'un lâcher incontrôlé du réservoir). Les résultats de l'analyse des risques présentent une construction théorique de l'état des connaissances sur les performances du barrage dans tout le domaine de conditions et de contraintes appliquées qui sont prévues lors de sa durée de vie. Vu sous cet angle, l'évaluation des risques n'est pas une propriété physique du barrage, mais plutôt une représentation mathématique de l'état des connaissances sur le barrage et de la confiance apportée à ses futures performances.

L'objectif de l'analyse des risques étant d'alimenter le processus de décision, la nature, la forme et l'extension de cette analyse sont déterminées par l'utilisation prévue des résultats du processus, et donc par le contexte de la prise de décision. Le sujet est si vaste, et les méthodes si nombreuses, que le traitement de l'analyse des risques qui suit est nécessairement conceptuel par nature. Une description détaillée des procédures ne serait pas appropriée aujourd'hui car les procédures analytiques sont en cours de développement et restent un sujet de débat. Les difficultés de la modélisation et l'absence de données correctement mises en forme ne permettent pas de présenter des pratiques d'évaluation des risques qui seraient acceptées par la profession dans son ensemble pour émettre des recommandations pour la sécurité des barrages. Cela ne signifie pas que l'analyse des risques, quels que soient son niveau de détail et sa rigueur scientifique, ne puisse pas être un exercice extrêmement utile, mais plutôt que des limitations existent dans la présentation, l'interprétation et l'utilisation des résultats.

---

<sup>1</sup> Le terme scientifique est utilisé ici dans le sens de « méthode scientifique » pour collecter les données et pour en tirer des conclusions concernant la sécurité d'un barrage, en utilisant une information limitée et incertaine, et non dans le sens de « recherche scientifique ».

Fundamentally, the purpose of risk assessment is to support risk management, including risk control initiatives. The form and nature of the risk assessment procedure is determined by its end-use, with different forms of risk assessment being used at different stages in the decision-making process. Risk assessment for dams is not always solely a matter of engineering per se or one of business, although both have essential roles in the process. Rather, in many situations, it is also a matter of government and of society as a whole. Benefits and risks associated with dams are not distributed equitably within society. Risk assessment involves making trade-offs between different risks; between risks to some individuals or groups, and risks to others; and between costs and benefits.

### **3.2. RISK ANALYSIS CONCEPTS AND PROCESSES**

The risk analysis process involves the scientific<sup>1</sup> characterisation of what is known and what is uncertain about the present and future performance of the dam system under examination. It is a structured process aimed at estimating both the probability of failure of the dam or dam components and the extent of the consequences of failure (often, though not always, restricted to those consequences resulting from uncontrolled release of the reservoir). The outputs of the risk analysis effort are a theoretical construct of the state of knowledge about the performance of the dam under the full range of physical conditions and applied loads that are anticipated over its design life. In this regard, the estimate of risk is not a physical property of the dam; rather it is a mathematical representation of the state of knowledge of the dam and the confidence in its future performance.

As the purpose of the risk analysis is to adequately inform the decision process, the nature, form and extent of the risk analysis process and its outputs are determined by the intended end use of the results of the process. In this regard, the requirements of the risk analysis are determined by the context within which the decision is to be made. Since the scope of the subject matter is so broad, and the number of possible variations in methods so large, the following treatment of risk analysis is necessarily conceptual in nature. Detailed description of procedures is not appropriate for this document at this time as the analytical procedures are under development and remain a matter for discussion. At present, modelling difficulties and lack of suitably conditioned data mean that there is little in the way of risk assessment practice, which is accepted by the profession as a whole, for the purpose of making dam safety recommendations. This does not mean that risk analysis, at whatever level of detail and scientific rigour, cannot be an extremely useful exercise; rather, that there are limitations as to how the outputs should be presented, interpreted and used.

---

<sup>1</sup> The term scientific used here is in the sense of the scientific method of collecting data and making inferences concerning the safety of the dam using limited and uncertain information, as opposed to the sense of science research.

---

Comme pour les méthodes traditionnelles d'ingénierie et d'analyse scientifique, la caractéristique fondamentale de l'analyse des risques est la discrétisation. Le processus de discrétisation implique :

- la séparation du système en composants et fonctions,
- l'identification des mécanismes de défaillance,
- l'analyse de chaque partie du mécanisme de défaillance isolément, puis
- la recombinaison de tous les éléments en accord avec les principes et les lois physiques.

Dans l'analyse des risques, les résultats sont exprimés sous forme d'une distribution de probabilités établie en se conformant aux lois des probabilités et des statistiques. Bedford et Cooke (2001) et Stewart et Melchers (1997) fournissent des exemples utiles de l'application des principes de l'analyse des risques.

### **3.2.1. Analyse des risques – vue générale**

Les processus d'analyse des risques peuvent être groupés en trois catégories : basés sur les normes, qualitatifs et quantitatifs. L'ampleur et le degré de rigueur de l'analyse varient selon les catégories et au sein de chaque catégorie, et fournissent différentes options à l'analyste pour s'adapter au contexte de décision. C'est pourquoi il n'y a pas d'approche préférable aux autres, aussi longtemps que l'on considère le contexte de décision et que l'on respecte les principes de l'analyse scientifique.

L'analyse des risques n'est pas effectuée explicitement au cours d'une approche basée sur la normalisation. Au contraire, la considération des risques est liée à l'utilisation de classifications reflétant certains aspects dangereux des barrages, à l'impact relatif des conséquences d'une défaillance, aux contraintes pour des événements peu probables et aux coefficients de sécurité.

Les approches qualitatives prennent en compte les risques plus explicitement que l'approche basée sur la normalisation, sans caractériser l'incertitude sous forme mathématique (probabiliste). Les plus simples parmi ces techniques consistent à indexer et classer des scénarios prenant en compte les problèmes éventuels de sécurité sur le barrage et les conséquences de sa défaillance pour l'un ou plusieurs des objectifs suivants :

- mettre en place des programmes de surveillance et d'auscultation ;
- donner la priorité à des études plus détaillées et ;
- améliorer la sécurité du barrage.

L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est une technique d'analyse de risques formelle largement utilisée dans d'autres industries, et commençant lentement à l'être pour les barrages. L'interprétation des résultats de l'AMDE demande éventuellement une métrique analysant la gravité, l'importance, la criticité, la potentialité, etc. L'expression de la combinaison de la fréquence et de la gravité sous forme de « criticité » est une façon de fournir cette métrique. Ceci est possible en complétant l'AMDE par des considérations de criticité grâce à l'AMDEC – Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité.

As in traditional methods of engineering and scientific analysis, a fundamental feature of risk analysis is that it is decompositional. The decompositional process involves:

- separating the system into its component parts and functions,
- identifying the functional failure mechanisms,
- analysing each part of the failure mechanism in isolation, and then,
- recombining all of the parts in accordance with basic physical principles and the laws of physics.

In the case of a risk analysis, the outputs are expressed as probability distributions constructed in accordance with the laws of probability and statistics. Bedford and Cooke (2001) and Stewart and Melchers (1997) provide useful examples of application of risk analysis principles.

### **3.2.1. Approaches to risk analysis – general overview**

Risk analysis processes can be grouped into three categories: Standards-based, Qualitative and Quantitative. The extent and level of rigour of the analysis varies across the categories and within each category, providing a range of choices to the analyst to suit the decision context. In this regard, one form is not necessarily superior to another, provided it is appropriate for the decision context and is carried out in terms of established principles of scientific analysis.

Risk analysis is not carried out explicitly within the standards-based approach (SBA). Rather, consideration of risk is implied through the use of classification schemes that reflect the hazardous nature of dams, the relative severity of the consequences of dam failure, design loads for unlikely events and safety coefficients.

Qualitative approaches consider risk more explicitly than the standards-based approach without characterising the uncertainty in mathematical (probabilistic) form. The simplest of these techniques are indexing and ranking schemes that consider the extent to which there is concern about the safety of dams and the consequences of their failure for one or all of the following purposes:

- setting monitoring and surveillance programs;
- prioritising more detailed studies and;
- dam safety improvements.

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a formal qualitative risk analysis technique widely used in other industries that is finding limited, but gradually increasing, application to dams. Interpreting the results of the FMEA may require some measure that describes severity, importance, criticality, potential to occur, etc. Expressing the combination of frequency and severity as a “criticality” is one way to provide a metric. This is achieved by extending the FMEA to include criticality considerations through Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA).

Les approches quantitatives comprennent les méthodes d'analyse de fiabilité formelles comme Premier Ordre, Second Moment (POSM), simulation de Monte Carlo, et méthodes complètes d'intégration<sup>2</sup>. Dans la même catégorie, on citera d'autres méthodes formelles pour la génération de représentations mathématiques des risques, notamment les arbres d'évènements quantitatifs et les arbres de défaillances modélisant les défaillances de systèmes et leurs conséquences (voir Haasl et al., 1980, Bedford et Cooke, 2001, et Stewart et Melchers, 1997). Les arbres d'évènements et arbres de défaillances peuvent inclure l'utilisation de différentes méthodes de simulation et d'analyse de fiabilité.

Une analyse complète quantitative et scientifique demande :

- une identification des caractéristiques physiques du système et les conditions naturelles auxquelles le système répond ;
- l'énumération complète des mécanismes de défaillance ;
- la détermination détaillée des lois physiques et des liaisons techniques entre les mécanismes mentionnés.

Le résultat d'une telle analyse quantitative complète est une mesure du risque incluant la détermination mathématique complète de l'incertitude de l'estimation.

Aucune méthode n'est à ce jour disponible pour permettre une telle analyse de risques quantitative complète (au sens scientifique) pour les barrages (les risques d'érosion interne, la probabilité de rupture et pertes de vies humaines associées étant un exemple de risque actuellement non quantifiable de manière scientifique car les incertitudes sont inconnaissables). Cependant, une bonne compréhension de la sécurité des barrages peut être obtenue en combinant des éléments de l'approche basée sur la normalisation et des analyses de risques qualitative et quantitative.

Certaines activités, les unes explicites, les autres implicites, sont communes aux trois approches, avec un effort et des ressources nécessaires théoriquement de plus en plus importants lorsque l'on part des approches basiques, mais néanmoins utiles, basées sur la normalisation, pour aller vers les méthodes détaillées exhaustives probabilistes (tous les modes de défaillance) que l'on peut appliquer dans l'analyse des risques. Bien que l'analyse quantitative soit en général une extension de l'analyse qualitative, il peut exister des situations où il est utile d'utiliser des éléments d'analyse quantitative dans une analyse qualitative. Une relation similaire existe entre les analyses qualitatives et les analyses basées sur la normalisation, de sorte que les trois approches sont complémentaires.

L'analyse des risques est effectuée en respectant les normes scientifiques acceptées et les procédures associées d'assurance qualité. Des conseils généraux sur la sélection de méthodes adaptées sont disponibles (CSA, 1991, SA/NZS, 1999). Théoriquement, une méthode est adaptée si :

1. Elle est validée scientifiquement et adaptée au système considéré et aux objectifs de l'évaluation des risques.

---

<sup>2</sup> Pour un exemple d'intégration, le lecteur se référera à : *L'intégration des effets prévus et du comportement opérationnel pour la conception de la barrière contre les marées de tempêtes* par J.P.F.M Janssen et R.E. Jorissen

Quantitative approaches include formal reliability analysis methods such as First Order, Second Moment (FOSM), Monte Carlo Simulation, and full integration methods<sup>2</sup>. Also included in this category are other formal methods of generating mathematical representations of the risk including quantitative event tree and fault tree models of system failures and associated consequences (see Haasl et al., 1980, Bedford and Cooke, 2001, and Stewart and Melchers, 1997). Event tree and fault tree methods may include the use of various simulation and reliability analysis methods.

A fully quantitative and scientific risk analysis would require:

- complete identification of the physical features of the system and the natural conditions that cause system response;
- full enumeration of failure mechanisms;
- detailed specification of the physical laws and engineering relationships within and amongst mechanisms.

The output of such a fully quantitative risk analysis is a measure of the risk that includes complete mathematical specification of the uncertainty in the estimate.

Methods are not yet available to enable such a fully quantitative risk analysis (in a scientific sense) for dams, (internal erosion risk - probability of failure and associated loss of life being an example of a risk that is presently unquantifiable in a scientific sense as many of the uncertainties are unknowable). Nevertheless, valuable understanding of dam safety can be obtained by combining elements from the standards-based approach, qualitative risk analysis and quantitative risk analysis.

Certain activities, some explicit, others implied, are common to all three approaches, with the level of effort and resource requirements generally increasing across the spectrum from basic, but none the less useful, standards-based approaches through fully comprehensive (all failure modes) detailed probabilistic methods that are applied in risk analysis. While a quantitative analysis will usually be an extension of a qualitative analysis, there may be situations where it is useful to use elements of quantitative risk analysis in a qualitative analysis. A similar relationship exists between qualitative analysis and standards-based analysis with the result that the three approaches are complementary.

Risk analysis is carried out in terms of accepted scientific norms and associated quality assurance procedures. General guidance on the selection of suitable methods is available (CSA, 1991, SA/NZS, 1999). In general, a method will be suitable if it:

1. Is scientifically valid and appropriate for the system under consideration and the risk assessment purpose.

---

<sup>2</sup> For an illustrative example of integration, the reader is referred to: *Integrating Forecast Effects and Operational Behaviour in Designing the Rotterdam Storm Surge Barrier* by J.P.F.M Janssen and R.E. Jorissen

2. Elle fournit des résultats sous une forme permettant de mieux comprendre la nature du risque, la façon dont il peut survenir et être contrôlé, et alimente réellement le processus de décision.
3. Elle peut être utilisée par différents professionnels d'une manière traçable, reproductible et vérifiable.

Ce dernier critère est caractéristique de la reproductibilité (Cooke, 1991) et permet une revue par les pairs, et si nécessaire une reproduction de tous les calculs. Ceci implique que les modèles de calculs doivent être entièrement présentés, et les données mises à disposition.

### 3.2.2. Systèmes, modèles et défaillances

Une fois la nature, la forme et l'ampleur, ainsi que les autres caractéristiques de l'analyse de risques spécifiées, un modèle ou des modèles du barrage, du réservoir, de la zone en aval et d'autres zones qui seraient touchées par une défaillance, ensemble appelé « le système », est établi (la Fig. 3.2 en est un exemple).

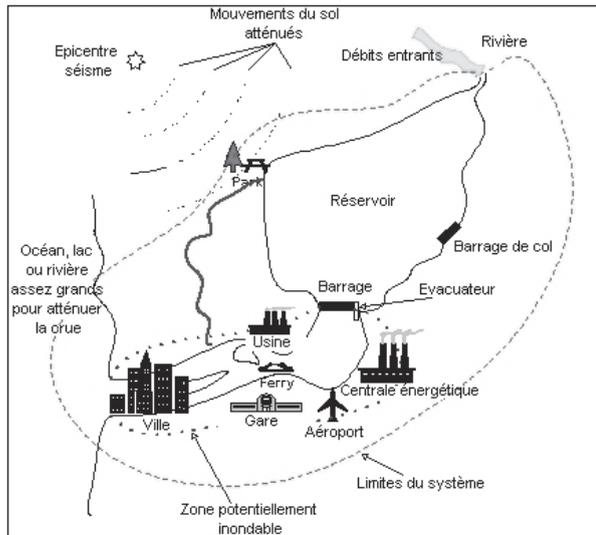


Fig. 3.2  
Exemple d'un modèle spatial du « Système concerné »

Le terme « système » est utilisé dans un sens très large et définit les limites de l'analyse de risque. Sa définition dépend de la modélisation. Si nécessaire, il devra inclure une série de barrages en cascade sur le bassin versant. Il concerne un groupe d'éléments liés, agissant les uns sur les autres et donc interdépendants, qui forment un tout complexe. Dans le contexte de l'analyse des risques, la *défaillance du système* signifie l'arrêt du fonctionnement ou des performances correctes, ou une dégradation des performances qui ne correspondent plus à ce qui est attendu du système dans son ensemble. Le but ultime d'une analyse de risques est la quantification de la probabilité et des conséquences d'une défaillance du système, appelées risque du système.

2. Provides results in a form that enhances understanding of the nature of the risk, the way in which it can occur and be controlled, and genuinely informs the decision-process.
3. Can be used by a variety of practitioners in a manner that is traceable, repeatable and verifiable.

This last attribute pertains to reproducibility (Cooke, 1991), which permits scientific peers to review and if necessary reproduce all calculations. This entails that the calculation models must be fully specified and the ingredient data must be made available.

### 3.2.2. Systems, system models and system failures

Once the nature, form and extent and other requirements of the risk analysis have been specified, a model or models of the dam, reservoir, downstream area and other areas that would be impacted by system failure – “the system” – is developed (Fig. 3.2 is an example).

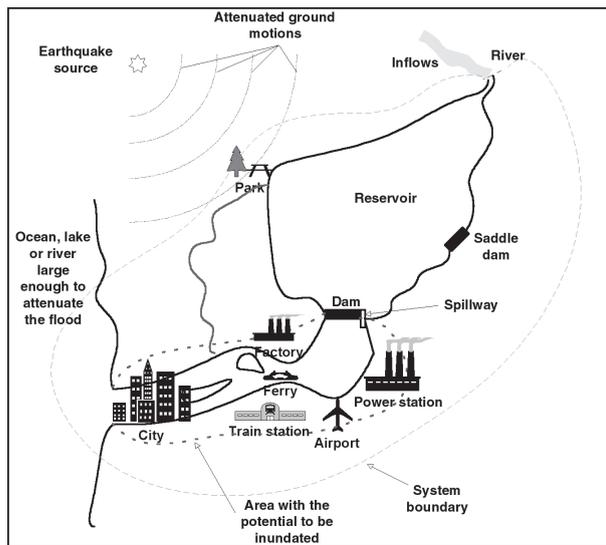
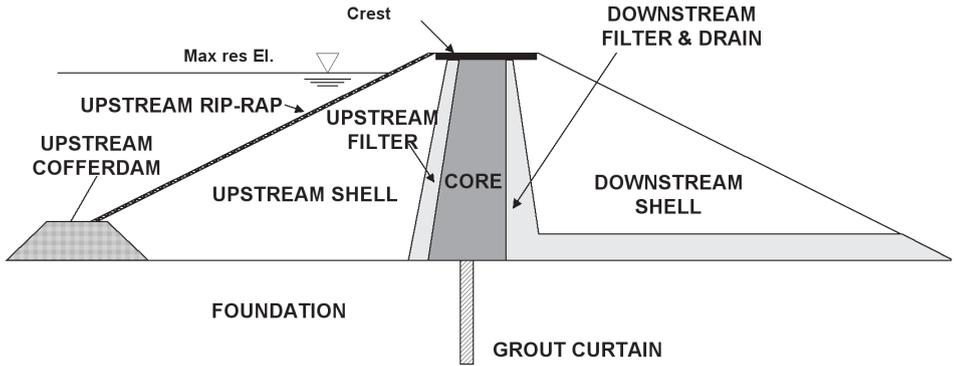


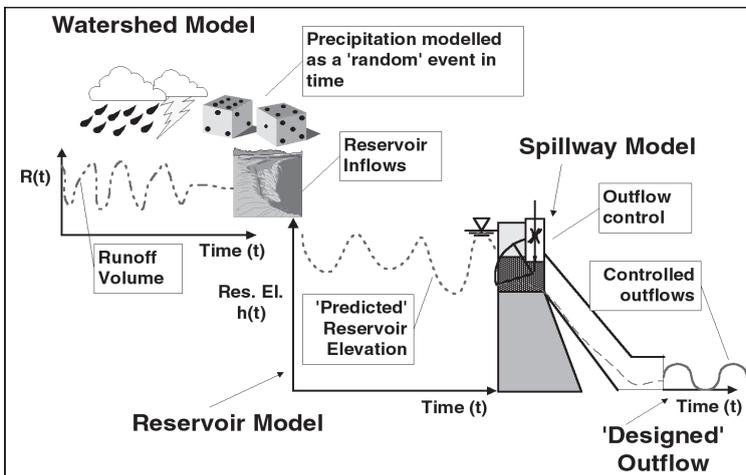
Fig. 3.2  
Example of a Spatial Model of the “System of Interest”

The term “system” is used in a general sense and it bounds the risk analysis. Its definition is a matter of modelling convenience. Where relevant, it can and should include a series of dams in “cascade” on the one river basin. It refers to a group of interacting, interrelated, and interdependent elements that form the complex whole. In the context of risk analysis, *system failure* means the cessation of proper functioning or performance, or non-performance of what is required or expected of the system as a whole. The ultimate goal of a risk analysis is the quantification of the probability and consequences of system failure, which is the system risk.

Des éléments (par exemple le barrage) du système dans son ensemble peuvent également être représentés sous forme d'un système, voire être divisés en sous-systèmes (par exemple barrage en terre, ou évacuateur de type poids en béton). Une division successive jusqu'aux composants de base (par exemple noyau en terre, enrochement de protection) est également possible (Fig. 3.3) voire parfois nécessaire. Puisque la fonction d'un barrage est de retenir l'eau (en admettant quelques percolations), une défaillance du barrage survient lorsque, par exemple, le système cesse de retenir l'eau, notamment lors de fuites graves.



Le système barrage/réservoir/bassin versant, et différents sous-systèmes, sont théoriquement représentés par un modèle donné. Alors qu'il est possible de définir les limites du système de barrage d'une manière unique et non ambiguë, les modèles internes au système ne sont pas uniques, et peuvent prendre de nombreuses formes (spatiale, fonctionnelle et mathématique). Suivant les objectifs de l'évaluation des risques, différentes approches pour modéliser le système et ses fonctions peuvent être nécessaires (Fig. 3.4).



Individual parts (e.g. the dam) of the system as a whole can also be represented as systems, and even subdivided into sub-systems (e.g. earth dam or concrete gravity spillway alone). Further sub-division all the way down to basic components (e.g., earth core, rip-rap protection) is also possible (Fig. 3.3) and is sometimes necessary. Since the function of a dam as a whole is to retain water (with some allowable seepage), the functional failure of a dam occurs when, for example, the system ceases to retain water (which can include severe leakage).

Fig. 3.3  
 Example of a Spatial Model of a “Fill Dam”  
*Exemple d'un modèle spatial de « barrage en remblai »*

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Crest                       | <i>Crête</i>                       |
| Max res El.                 | <i>Niveau maximum du réservoir</i> |
| Upstream rip-rap            | <i>Enrochement amont</i>           |
| Upstream cofferdam          | <i>Batardeau amont</i>             |
| Upstream filter             | <i>Filtre amont</i>                |
| Upstream shell              | <i>Recharge amont</i>              |
| Core                        | <i>Noyau</i>                       |
| Downstream filter and drain | <i>Filtre et drain aval</i>        |
| Downstream shell            | <i>Recharge aval</i>               |
| Foundation                  | <i>Fondation</i>                   |
| Grout curtain               | <i>Écran d'injection</i>           |

The dam/reservoir/river basin system, and various sub-systems, is normally represented by a model of some form. While it might be possible to define the boundaries of the dam system in a unique, unambiguous way, the models internal to the system are not unique and can take many forms (e.g. spatial, functional, mathematical). Depending on the risk assessment purpose, several approaches to modelling the system and its functions may be required (Fig. 3.4).

Fig. 3.4  
 Example of a Functional Model of a Watershed, Reservoir and Dam System  
*Exemple d'un modèle fonctionnel pour un système comportant un bassin versant, un réservoir et un barrage*

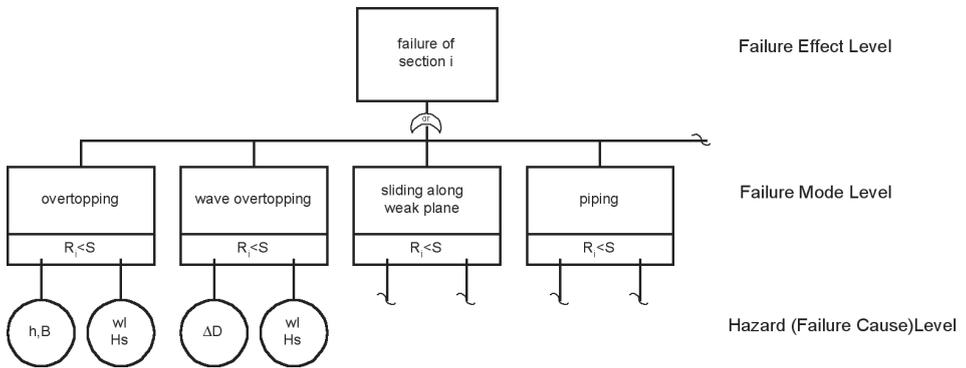
|  |  |
|--|--|
| Watershed model                                  | <i>Modèle de bassin versant</i>  |
| Precipitation modelled as a random event in time | <i>Précipitations modélisées comme événement aléatoire dans le temps</i> |
| Reservoir inflows                                | <i>Débîts entrants dans le réservoir</i>                                 |
| Spillway model                                   | <i>Modèle d'évacuateur</i>   |
| Outflow control                                  | <i>Contrôle de débit sortant</i>   |
| Runoff volume                                    | <i>Volume de ruissellement</i>   |
| Predicted reservoir elevation                    | <i>Niveau prévu du réservoir</i>   |
| Reservoir model                                  | <i>Modèle de réservoir</i>   |
| Designed outflow                                 | <i>Débit sortant de projet</i>   |

L'idée de la modélisation est naturellement de simplifier le système en restant réaliste pour certains aspects importants, de manière à pouvoir l'analyser à l'aide de procédures scientifiques. La définition des limites du système et la définition des sous-systèmes sont donc du ressort de l'analyste. Ces limites peuvent être définies de différentes manières.

L'analyse des risques consiste théoriquement à déterminer la réponse de systèmes complexes à des phénomènes naturels complexes. Dans de nombreux cas, il peut n'y avoir que peu ou pas d'expérience passée, rendant nécessaire de construire des modèles de prévision de « Type A » (Lambe, 1973) ou « pré-événement » pour pouvoir analyser les risques. Le degré de difficulté de la modélisation est prédéterminé par la complexité du problème des risques ; il sera donc souvent nécessaire de construire un certain nombre de sous-modèles pour les différents sous-systèmes et éléments, de manière à rendre la modélisation plus facile. La liaison des sous-modèles les uns avec les autres fait partie du processus d'analyse d'ensemble. Comme pour toute modélisation, le modèle doit représenter de manière concise et efficace la logique du système, les influences qu'il subit, et les incertitudes affectant ses performances. La modélisation des systèmes cherche à obtenir une représentation relativement simple, comportant un nombre faible de paramètres, et qui malgré cette simplicité représente fidèlement le comportement du système physique réel.

### 3.2.3. Défaillance – modes, risques d'accident, mécanismes et effets

Les concepts présentés dans cette sous-section sont illustrés dans la Fig. 3.5.



Un *mode de défaillance* décrit comment les défaillances d'un élément ou d'un composant doivent survenir pour causer l'arrêt du fonctionnement du sous-système ou du système. Les modes de défaillance ne sont donc pas des caractéristiques intrinsèques du système, mais des éléments artificiels dépendant de la façon dont le

The idea in modelling is to simplify the system in a way that realistically resembles reality in some important relevant way in order that it can be analysed utilising scientific procedures. Consequently, the definition of the boundaries for the system and the definition of sub-systems are a matter for the analyst. There is no unique way to define these boundaries.

Typically, risk analysis involves determining the response of complex systems to complex natural phenomena. In many cases, there may be little or no past experience, making it necessary to construct “Type A” (Lambe, 1973) or “before event” predictive models in order to analyse the risk. As the degree of difficulty of the modelling effort is essentially pre-determined by the complexity of the risk problem, it will often be necessary to construct a number of sub-models for the different sub-systems and elements to make the modelling endeavour tractable. Linking all of the sub-models together constitutes part of the overall analysis process. As in all modelling, the system models should concisely and efficiently represent the logic of the system, influences upon the system, and uncertainties affecting system performance. The enterprise of system modelling seeks a relatively simple representation with comparatively few parameters, which despite its simplicity closely represents the behaviour of the actual physical system.

### 3.2.3. Failure – modes, hazards, mechanisms and effects

The concepts presented in this sub-section are illustrated in Fig. 3.5.

Fig. 3.5  
Failure – Modes, Hazards, Mechanisms and Effects<sup>3</sup>  
*Défaillance – modes, risques d'accident, mécanismes et effets*<sup>4</sup>

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Failure effect level         | Niveau d'impact de la défaillance          |
| Failure mode level           | Niveau du mode de défaillance              |
| Hazard (failure cause) level | Niveau de danger (cause de la défaillance) |
| Failure of section i         | Défaillance de la section i                |
| Overtopping                  | Déversement                                |
| Wave overtopping             | Submersion par des vagues                  |
| Sliding along weak plane     | Glissement sur plan de fracture            |
| Piping                       | Renard                                     |

A *failure mode* describes how element or component failures must occur to cause loss of the sub-system or system function. In this regard, failure modes are not unique features of the system but artefacts of how the system is modelled. Failure effects at a lower level in the system become the failure modes at the next highest

<sup>3</sup> *Probabilistic Design of Water Defence Systems in the Netherlands*, by Prof. ir drs J.K.Vrijling, 2001.

<sup>4</sup> *Conception probabiliste de systèmes de protection contre les eaux aux Pays-Bas*, par Prof. ir drs J.K.Vrijling, 2001.

système est modélisé. Les effets d'une défaillance à un niveau inférieur du système deviennent les modes de défaillance au niveau supérieur le plus proche du système. En général, le système est décomposé en sous-systèmes jusqu'à un niveau permettant une compréhension parfaite des modes de défaillance de chaque sous-système élémentaire.

Des catégories générales de modes de défaillance peuvent être définies pour les barrages, mais ces catégories sont souvent trop globales pour une analyse définitive. Par exemple, les modes de défaillance des barrages en terre peuvent être classés globalement en termes de : déversement en crête, érosion interne/renard, déplacement de masse et instabilité des talus. Ces catégories générales de modes de défaillance sont trop générales pour une analyse définitive et doivent être sub-divisées en décomposant le système et en effectuant l'analyse à un niveau plus basique.

Les modes de défaillance peuvent se référer à la cause, suivant le niveau d'analyse, mais en général ils se rattachent plutôt à l'effet observé. La cause implique qu'une analyse scientifique peut déterminer l'origine de la défaillance. Les modes de défaillance peuvent être utilisés en entrée de l'analyse de risques, comme c'est le cas pour une analyse basée sur la normalisation, ou ils peuvent être déterminés par une analyse scientifique des défaillances fonctionnelles du système, comme ce peut être le cas en analyse quantitative des risques.

Chaque mode de défaillance peut être dû à un ou plusieurs *phénomènes dangereux* ou événements initiateurs. Typiquement pour les barrages, ces événements initiateurs du mode de défaillance sont des orages violents, des tremblements de terre, des défauts de conception et de construction pour des contraintes hydrauliques normales, et des actions humaines (erreur d'exploitation, sabotage etc.) L'identification des phénomènes dangereux, causes de défaillances extérieures au système, peut être relativement immédiate. Par opposition, les causes des défaillances internes peuvent ne pas être aussi faciles, et mettre en jeu des interactions entre les modes de défaillance d'un sous-système, des mécanismes de défaillance d'un autre sous-système, et les effets de la défaillance d'un troisième etc.

Un *mécanisme de défaillance* décrit les processus et états physiques qui doivent survenir, en accord avec les lois naturelles, pour permettre au mode de défaillance de passer de l'initiation (cause) à la réalisation de l'effet ultime qui nous intéresse. Les mécanismes de défaillance, eux aussi, ne sont pas uniques et leur représentation dépend de la manière dont le système, ses fonctions et ses défaillances sont modélisés.

Un *effet de défaillance* est une conséquence (à ne pas confondre avec les conséquences aval d'une onde de rupture) d'un mode de défaillance en termes d'exploitation ou de performance du système de barrage. Les effets de la défaillance sont propagés à travers le système par le biais des mécanismes de défaillance. Un effet de défaillance peut découler d'un ou de plusieurs modes de défaillance, pour un ou plusieurs sous-systèmes. De tous les effets de la défaillance d'un élément à travers le système, deux catégories d'effets ont une valeur particulière. Les effets « immédiats » ou « locaux » de la défaillance d'un sous-système, et les effets « globaux », ou « finaux » ou « ultimes » de cette défaillance. Les effets « locaux » se rapportent aux effets du mode de défaillance sur le(s) sous-système(e) adjacent(s), alors que les effets « globaux » se rapportent aux impacts sur le système dans son ensemble.

level in the system. In general, the system is broken down into sub-systems to a level where there is a thorough understanding of the failure modes of the elementary sub-systems.

General failure mode categories can be prepared for dams but these general categories are often too general for definitive analysis. For example, failure modes of earthfill dams can be broadly categorised in terms of: hydraulic overtopping, internal erosion/piping, mass movement and slope instability. These general categories of failure modes are usually too broad for definitive analysis and should be expanded by going deeper into the system and carrying out the analysis at a more basic level.

Failure modes may refer to the root cause, depending on the level of analysis, but usually refer to the observed failure effect. Root cause implies that a scientific analysis can determine the fundamental beginning of the failure. Failure modes can be inputs to the risk analysis as is the case for standards-based analysis, or they can be determined through scientific analysis of functional failure of the system, as may be the case in formal quantitative risk analysis.

Each failure mode can be due to one or more *hazards* or failure mode initiators. Typically for dams, these failure mode initiators are extreme storms, earthquakes, design and construction flaws in conjunction with normal hydraulic loads, and human agency (mis-operation, sabotage etc.). Identification of hazards, the failure causes external to the system, may be relatively straightforward. However, identification of internal failure causes may not be so straightforward and may involve consideration of interactions between failure modes of one sub-system, failure mechanisms of another sub-system and failure effects of a third sub-system and so on.

A *failure mechanism* describes the physical processes and states that must occur, in accordance with natural laws, for the failure mode to progress from failure mode initiation (cause) through to the realisation of ultimate failure effect of interest. Again, failure mechanisms are not unique and their representation depends on the manner in which the system, its function and functional failure are modelled.

A *failure effect* is a consequence (not to be confused with the downstream consequences of dam-break flooding) of a failure mode in terms of the operation or performance of the dam system. Failure effects are propagated through the system along the failure mechanisms. A failure effect can result from one or more failure modes of one or more sub-systems. Of all the “effects” of element failure throughout the system, two categories of “effects” are of particular value. The “immediate” or “local” effects of sub-system failure and “global”, or “end”, or “ultimate”, effects of sub-system failure. The “local” effects refer to the effects of the failure mode on the adjacent sub-system(s), whereas the “global” effects refer to the effects of element failure on the system as a whole.

En réalité, l'ensemble des phénomènes dangereux et des risques potentiels à considérer est énorme, car les barrages sont des systèmes complexes interagissant avec la nature et avec la région en aval de manière non déterministe, et des facteurs humains interviennent lors de leur conception, maintenance, exploitation et maintien à long terme. Les caractéristiques du système, les interactions internes et externes évoluent souvent d'une manière complexe pendant toute la durée de vie du barrage. Il est dès lors nécessaire de concentrer l'analyse sur les points les plus importants, sans en oublier, tout en étant conscient des connaissances et ressources nécessaires pour effectuer cette analyse. Par exemple, il est possible qu'une erreur d'exploitation, combinée avec des orages violents sans être toutefois exceptionnels, puisse entraîner un risque beaucoup plus élevé que des orages exceptionnels seuls.

C'est pourquoi il est important de fixer le contexte de l'état de sécurité du barrage et de la zone aval, et de l'analyse des risques dès le début. Par exemple, différents facteurs, comme les avantages du contrôle des crues, les erreurs humaines, la fiabilité de l'évacuateur, les modes de défaillance inhérents au barrage depuis sa conception (comme la dépendance aux pompes pour contrôler les sous-pressions), et les risques qui surviennent lors des mesures correctives proposées ou des changements du mode d'exploitation, influencent tous le contexte de l'analyse des risques. Un large exposé sur ces problèmes a été rédigé par Lempérière (1999) pour un comité technique CIGB au nom du Comité national français, et a été proposé lors de l'élaboration de ce bulletin.

#### **3.2.4. Méthodes d'analyse des risques – vue d'ensemble**

Cette sous-section est illustrée par des exemples de chaque concept présenté. Ces exemples sont tous interdépendants pour offrir au lecteur une vision conceptuelle des différents éléments de l'analyse et de la façon dont ils sont intégrés.

Les modes de défaillances, phénomènes dangereux, mécanismes et effets de défaillance sont déterminés par l'observation et/ou par des procédures d'analyse scientifique. Les risques d'accident, mécanismes de défaillance et effets de défaillance doivent pouvoir être énumérés par l'analyse scientifique à un certain degré pour tous les types d'analyse de risques, ce degré dépendant de la forme de l'analyse. Dans le cas de l'analyse basée sur la normalisation, les nécessités d'énumération analytique sont généralement déterminées par la norme. Dans les analyses de risque quantitatives, les nécessités d'énumération analytique sont cohérentes avec celles de la normalisation, mais il est nécessaire également que la logique soit traitable numériquement. L'analyse de risque quantitative, décrite précédemment dans la sous-section 3.2.1, présente des applications plus larges, et même une meilleure résolution que les méthodes qualitatives.

Aucune méthode n'est disponible à ce jour pour permettre une analyse quantitative complète et rigoureuse pour les barrages. A l'heure actuelle, l'analyse de risque peut être utilisée pour fournir une caractérisation des risques de type indice, partiellement scientifique et partiellement subjective, et dont les résultats peuvent être utilisés en gestion des risques. De tels résultats devraient être accompagnés d'explications sur le degré d'analyse scientifique et le degré d'opinion subjective impliqués dans la construction des indices.

Typically, the full range of hazards and risk issues to be considered is potentially enormous as dams are complex systems that interact with nature and with the downstream region in uncertain ways and with significant elements of human agency in their design, maintenance, operation and long-term sustainability. The characteristics of the system and the internal and external interactions vary, often in a complex way, over the entire life cycle of the dam. Therefore it is necessary to focus the analysis on the issues of concern, avoiding oversight of important issues while recognising the resource and knowledge constraints imposed on the analysis effort. For example, it might be that operational error combined with a severe but not extreme storm could result in significantly higher risk than the extreme storm alone.

Therefore it is important to establish the context for the safety status of the dam, the downstream area and of risk analysis at the outset. For example, diverse matters such as flood control benefits, human error, spillway reliability, failure modes inherent in the dam from design decisions (such as reliance on pumps to control uplift pressures), and risks that arise during proposed structural remediation or operational changes all influence the context of the risk analysis. A broad discussion on these issues was prepared by Lempérière (1999) for an ICOLD technical committee on behalf of the French National Committee and was made available as part of the preparation of this bulletin.

### **3.2.4. Risk analysis methods – an overview**

This sub-section is illustrated by examples of the individual concepts that are presented. These examples are all interrelated to provide the reader with a conceptual overview of the individual elements of the analysis and how they are integrated.

Failure modes, hazards, failure mechanisms and failure effects are determined by observation and/or through scientific analysis procedures. Hazards, failure mechanisms and failure effects must also be amenable to enumeration through scientific analysis to some degree for all types of risk analysis, where the degree to which enumeration is necessary will depend on the form of the risk analysis. In the case of standards-based analysis, the requirements for analytical enumeration are generally determined by the standard. In qualitative risk analyses, the requirements for analytical enumeration are consistent with those of standards-based analysis, with the added requirement that the logic be computable. Quantitative risk analysis, as described previously in Sub-section 3.2.1, has more extensive application and even greater resolution than qualitative methods.

Methods are not yet available to enable such a fully quantitative and rigorous risk analysis for dams. Presently, the risk analysis framework can be used to provide index type characterisation of risks that are partly scientific and partly subjective, the outputs of which may be used to assist in safety management. Normally the outputs from such analyses would include explanation of the relative extents to which these index constructs are derived from scientific analysis and from subjective opinions.

Nous présentons ci-après une brève description des méthodes scientifiques disponibles pour l'analyse des risques. Dans tous les cas, un certain degré d'analyse scientifique est nécessaire, car l'observation seule (expérience passée) est rarement adaptée pour l'analyse des risques des barrages. Très souvent, il n'y a pas d'expérience passée directement ou indirectement utilisable. Dans ces conditions, les modèles de prévision de « Type A » (Lambe, 1973) sont utilisés pour pouvoir résoudre le problème. Ces méthodes peuvent être utilisées seules, ou en combinaison avec d'autres.

Il existe une littérature très riche sur les principes généraux de la plupart des méthodes d'analyse, et notamment les analyses de type Modes de défaillance (AMDE, AMDEC et leurs variantes), analyses par arbre de défaillances et méthodes de fiabilité. Par opposition, il y a peu de littérature faisant autorité sur l'analyse par arbres d'événements et autres procédures analytiques de type analyse des conséquences de défaillance de barrage, qui seraient nécessaires pour entreprendre une analyse de risque. Aujourd'hui, des recherches limitées s'orientent vers le développement des connaissances et capacités professionnelles nécessaires dans ce domaine dans plusieurs pays.

*Méthodes d'analyse des modes de défaillance* : l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est une méthode inductive<sup>3</sup> d'analyse au cours de laquelle on suppose des pannes ou événements initiateurs pour analyser l'ensemble de leurs effets sur le système. L'AMDE peut être utilisée sous de nombreuses formes et pour des objectifs différents. Dans son application la plus simple, ce peut être une technique indépendante permettant une compréhension structurée des modes de défaillance applicables aux composants d'un système technique, ou elle peut faire partie intégrante d'une analyse probabiliste plus exhaustive des risques associés à des systèmes intégrés multiples.

Bien qu'il existe de nombreuses façons d'appliquer la technique de base aux systèmes techniques, et d'utiliser les résultats dans des études plus larges de risque et de fiabilité, on utilise deux techniques clairement définies, l'AMDE et l'AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité). La différence principale entre ces deux applications est la suivante : la première ne traite que la représentation des modes de défaillance du système et de leur influence, tandis que la deuxième fournit une donnée probabiliste de l'occurrence et de la conséquence pour le système de chaque mode de défaillance. Ceci permet la classification de différents événements suivant le taux de risque associé.

Les résultats d'une analyse de ce type sont présentés en général sous la forme d'un tableau (le tableau 3.1 en est un exemple).

Les principes de base de l'AMDE et de l'AMDEC sont communs à un certain nombre de normes nationales ou internationales, et devraient à ce titre être reconnus et acceptés par de nombreux professionnels internationaux du risque.

---

<sup>3</sup> L'induction consiste à raisonner à partir de cas individuels pour arriver à une conclusion générale.

The following provides a brief description of the scientific methods of risk analysis that are available. In all cases, some degree of scientific analysis is required as observation alone (past experience) is rarely adequate for risk analysis for dams, and in many cases there is no past experience that is either directly or plausibly relevant. Under such circumstances, “Type A” predictive models (Lambe, 1973) are used to make the problem tractable. These methods can be used on their own or in some complementary combination.

There is a rich literature on the general principles of most of the analysis methods, and particularly Failure Modes type analyses (FMEA, FMECA and their variations), Fault Tree Analysis and Reliability Methods. On the other hand, there is comparatively little in the way of authoritative literature on Event Tree Analysis and other analytical procedures, such as dam failure consequence analysis, necessary for the risk analysis endeavour. Currently, there is some limited research aimed at developing the necessary knowledge and facilitating the development of the necessary professional capability in some of these areas in several countries.

*Methods of Failure Modes Analysis:* Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is an inductive<sup>5</sup> method of analysis where particular faults or initiating conditions are postulated and the analysis reveals the full range of effects of the fault or the initiating condition on the system. FMEA can be applied in several forms and for a number of purposes. In its simplest application it can be a free standing technique to give a structured understanding of the failure modes applicable to the components of an engineered system, or it can be an integral part of a more comprehensive probabilistic analysis of the risks associated with multiple integrated systems.

Although there are many ways in which the basic technique can be applied to engineered systems, and in the way in which the output is incorporated within wider risk and reliability studies, there are two clearly defined techniques in use, FMEA and Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA). The essential difference between these two applications is that the first deals only with an understanding of the range and influence of a system's failure modes, while the second enumerates a statement of probability of occurrence and consequence to the system for each failure mode. This permits the ranking of the various events in order of the assigned risk rating.

The results of a failure modes type of analysis are usually presented in tabular form (Table 3.1 is an example).

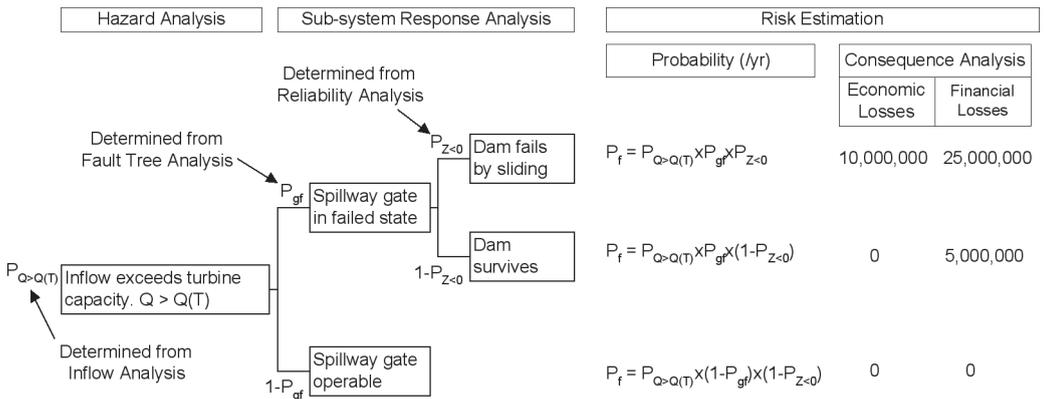
The basic principles of FMEA/FMECA are common to a number of international and national standards and as such will be recognisable and acceptable to a broad range of international risk practitioners.

---

<sup>5</sup> Induction constitutes reasoning from individual cases to a general conclusion.

L'Analyse par Arbre d'Événements (AAE) est une technique qualitative ou quantitative utilisée pour identifier les résultats possibles, et si nécessaire leur probabilité, en cas d'évènement initiateur. L'AAE est une analyse de type inductif, la question de base posée étant : « Que se passe-t-il si... », par exemple, « Que se passe-t-il en cas de débit entrant important ? » Un exemple d'arbre d'évènements pour un mode de défaillance dans le cas d'un barrage subissant un phénomène de crue dangereux est donné à la Fig. 3.6.

L'AAE est fréquemment utilisée pour les aménagements équipés d'installations d'atténuation des accidents, pour identifier la séquence d'évènements suivant l'évènement initiateur, et leurs conséquences spécifiques. Dans son application aux barrages, l'AAE met en valeur les relations existant entre le fonctionnement ou la panne de différents systèmes de défense, et elle est utile pour identifier les évènements demandant une analyse supplémentaire à l'aide de techniques d'analyse par arbre de défaillances (chaque branche de l'arbre d'évènements devenant l'évènement de base de l'arbre de défaillances).



L'analyse par arbre de défaillances (AAD) est une technique, quantitative ou qualitative, au cours de laquelle les conditions ou facteurs pouvant contribuer à un évènement indésirable spécifique (appelé évènement principal) sont identifiés par déduction, organisés d'une manière logique et représentés graphiquement. Les défauts identifiés dans l'arbre peuvent être des évènements associés à des défaillances de matériel, des erreurs humaines ou tout autre évènement pertinent pouvant mener à un résultat indésirable (par exemple déversement en crête). En partant de l'évènement principal, les causes possibles ou les modes de défaillance du système fonctionnel subordonné le plus proche sont identifiés. En effectuant pas à pas l'identification des fonctionnements indésirables du système jusqu'aux niveaux les plus basiques, on arrive en général au mode de défaillance du composant ou de l'élément. Un exemple conceptuel d'un arbre de défaillances pour la panne d'une vanne d'évacuateur est présenté en Fig. 3.7.

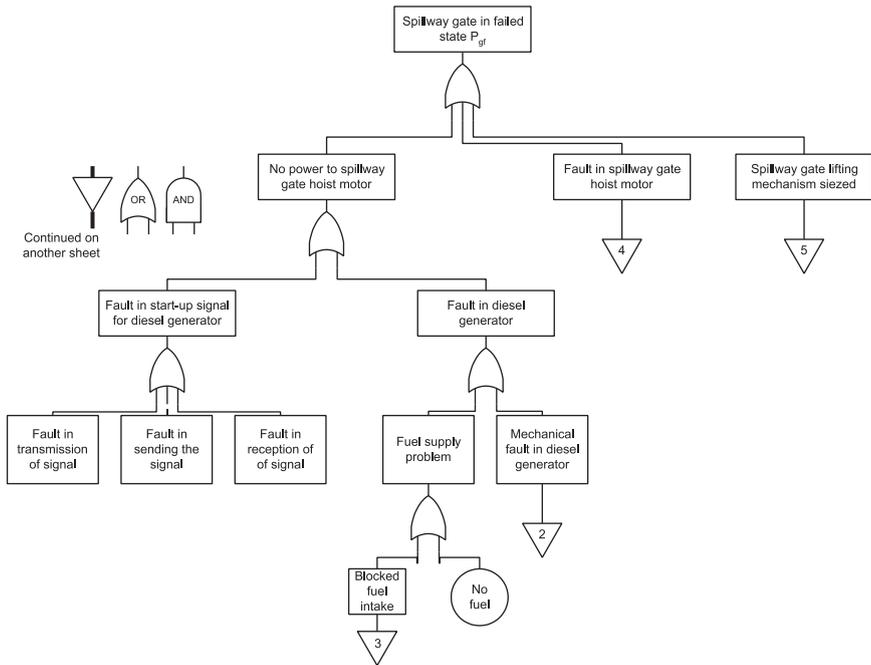
*Event Tree Analysis (ETA)* is a technique, either qualitative or quantitative, that is used to identify the possible outcomes, and if required their probabilities, given the occurrence of an initiating event. ETA is an inductive type of analysis where the basic question that is addressed is “What happens if...” e.g., “What happens if there are high inflows?” An example of an event tree for one failure mode for a dam subjected to a flood hazard is illustrated in Fig. 3.6.

ETA is widely used for facilities provided with engineered accident-mitigating features to identify the sequence of events that follow the initiating event and which produce specified consequences. In dam safety applications, ETA reveals the relationship between the functioning or failure of various mitigating systems and it is useful for identifying events that require further analysis using fault tree techniques (i.e. individual event tree branches become the top events of the fault trees).

Fig. 3.6  
 Example of a Hypothetical Quantitative Event Tree Analysis  
*Exemple d'une analyse quantitative hypothétique par arbre d'événements*

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Hazard analysis                      | <i>Analyse des dangers</i>                               |
| Sub-system response analysis         | <i>Analyse de réponse du sous-système</i>                |
| Risk estimation                      | <i>Estimation des risques</i>                            |
| Probability                          | <i>Probabilité</i>                                       |
| Consequence Analysis                 | <i>Analyse des conséquences</i>                          |
| Economic losses                      | <i>Pertes économiques</i>                                |
| Financial losses                     | <i>Pertes financières</i>                                |
| Determined from reliability analysis | <i>Déterminé par l'analyse de fiabilité</i>              |
| Determined from Fault tree analysis  | <i>Déterminé par l'analyse par arbre de défaillances</i> |
| Determined from Inflow analysis      | <i>Déterminée par l'analyse des débits entrants</i>      |
| Inflow exceeds turbine capacity      | <i>Débit dépassant la capacité des turbines</i>          |
| Spillway gate in failed state        | <i>Vanne d'évacuateur défaillante</i>                    |
| Dam fails by sliding                 | <i>Rupture de barrage par glissement</i>                 |
| Dam survives                         | <i>Le barrage résiste</i>                                |
| Spillway gate operable               | <i>La vanne d'évacuateur peut être actionnée</i>         |

*Fault Tree Analysis (FTA)* is a technique, either qualitative or quantitative, by which conditions and factors that can contribute to a specified undesired event (called the top event) are deductively identified, organized in a logical manner and represented pictorially. The faults identified in the tree can be events that are associated with component hardware failures, human error or any other pertinent event that leads to the undesired outcome (e.g. dam overtopped). Starting with the top event, the possible causes or failure modes on the next lower functional system level are identified. Following the step-by-step identification of undesirable system operation to successively lower system levels will lead to the desired system level, which is usually the component or element failure mode. A conceptual example of a fault tree for a failure of a spillway gate is illustrated in Fig. 3.7.



Les méthodes de fiabilité structurelle permettent le calcul des probabilités de défaillance des mécanismes. La Fig. 3.8 illustre les concepts de modélisation sous-jacents. Les probabilités sont calculées en utilisant les méthodes de la théorie de la fiabilité moderne, du type Monte Carlo niveau III, mise à jour suivant règle de Bayes, calculs avancés de Premier ordre Second moment niveau II (voir Van Gelder, 1999 pour une présentation complète).

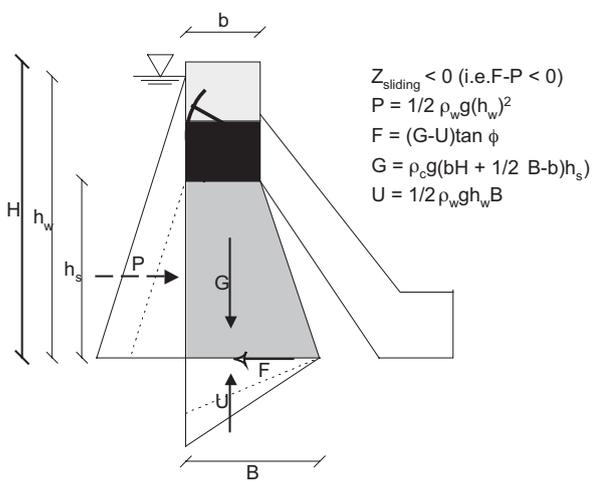


Fig. 3.7  
 Example of a Fault Tree  
*Exemple d'un arbre de défaillances*

|   |   |
|---|---|
| Spillway gate in failed state                 | <i>Vanne d'évacuateur défaillante</i>                           |
| No power to spillway gate hoist motor         | <i>Pas d'alimentation au moteur du treuil de vanne</i>          |
| Fault in start up signal for diesel generator | <i>Défaillance du signal de démarrage du groupe électrogène</i> |
| Fault in transmission of signal               | <i>Défaillance dans la transmission du signal</i>               |
| Fault in sending the signal                   | <i>Défaillance d'envoi du signal</i>                            |
| Fault in reception of signal                  | <i>Défaillance de réception du signal</i>                       |
| Fault in diesel generator                     | <i>Défaillance du groupe électrogène</i>                        |
| Fuel supply problem                           | <i>Problème d'alimentation diesel</i>                           |
| Mechanical fault in diesel generator          | <i>Défaillance mécanique du groupe électrogène</i>              |
| Blocked fuel intake                           | <i>Tuyau d'alimentation diesel bouché</i>                       |
| No fuel                                       | <i>Pas de diesel</i>  |
| Fault in spillway gate hoist motor            | <i>Défaillance du moteur du treuil de vanne</i>                 |
| Spillway gate lifting mechanism sized         | <i>Mécanisme de levage de la vanne grippé</i>                   |

*Structural Reliability Methods* permit the calculation of failure probabilities of the mechanisms. Fig. 3.8 illustrates the underlying modelling concepts. Probabilities are calculated using the methods of the modern reliability theory such as Level III Monte Carlo, Bayesian updating, Level II advanced first order second moment calculations (see Van Gelder, 1999 for a complete overview).

Fig. 3.8  
 Model of Sliding Failure for Use in a Reliability Analysis  
*Modèle de défaillance par glissement pour utilisation dans une analyse de fiabilité*

La possibilité de traiter une défaillance humaine pour fermer, par exemple, un pertuis en conjonction avec une défaillance structurelle, est considéré comme un avantage considérable de l'approche probabiliste utilisée en général dans l'analyse des risques. Une littérature très riche portant sur les méthodes de fiabilité, notamment l'analyse de la fiabilité humaine, s'est développée au cours des 20 dernières années, et nous conseillons au lecteur de se référer aux sources autorisées (par exemple. Bedford et Cooke, 2001, Kirwan, 1994 et Reason, 1990). *Les facteurs humains et l'analyse de fiabilité humaine* (voir les définitions du Glossaire basées sur HSE, 1999b), sont des sous-ensembles extrêmement importants pour *l'analyse de fiabilité structurelle*.

### *Attribution de probabilités*

Le risque est quantifié en associant une valeur de probabilité à chaque branche de l'arbre d'évènements ou chaque point de données de l'arbre de défaillances. Chaque probabilité est attribuée en général en utilisant des estimations statistiques (c'est-à-dire basées sur l'expérience), des modèles techniques et le jugement d'experts, d'une manière complémentaire. Des principes généraux d'analyse quantitative des risques, fournissant des indications utiles pour les applications aux barrages, ont été développés au cours des 10 ou 15 dernières années (Howson et Urbach, 1991, Morgan et Henrion, 1990, Cooke, 1991, Bedford et Cooke, 2001).

The possibility to treat the human failure to close, for instance, a sluice in conjunction with structural failure is seen as a considerable advantage of the probabilistic approach that is typically used in risk analysis. A rich literature on reliability methods, including human reliability analysis, has emerged over the past twenty years and the reader is directed to these authoritative sources. (e.g. Bedford and Cooke, 2001, Kirwan, 1994 and Reason, 1990). *Human factors* and *human reliability analysis* (see the Glossary definitions based on HSE, 1999b) is a critically important sub-set, of equal importance to *structural reliability analysis*.

### *Probability Assignment*

The risk is quantified by associating an appropriate value of probability for each branch in the event tree or each data point in the fault tree. Individual probabilities are typically assigned using statistical (i.e., empirical) estimates, engineering models and expert opinions, usually in a complementary way. General principles for quantitative risk analysis, which provide useful guidance for applications of risk analysis to dam safety, have emerged over the past 10 to 15 years (Howson and Urbach, 1991, Morgan and Henrion, 1990, Cooke, 1991, Bedford and Cooke, 2001).

Tableau 3.1  
Exemple de fiche AMDE (CSA, 1993) sur la base des données de la fig. 3.6.

| Système _____               |   | Date _____                               |  |                                 |                           |                            |   |  |  |           |
|-----------------------------|---|--|--|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|--|-----------|
| Niveau d'intervention _____ |   | Fiche _____ de _____                     |  |                                 |                           |                            |   |  |  |           |
| Schéma de référence _____   |   | Établi par _____                         |  |                                 |                           |                            |   |  |  |           |
| Mission _____               |   | Approuvé par _____                       |  |                                 |                           |                            |   |  |  |           |
| Numéro d'identification     | Objet / Identification fonctionnelle (nomenclature) | Fonction                                 | Modes de défaillance et causes   | Effets de défaillance           |                           |                            | Méthode de détection des défaillances     | Dispositions correctrices                            | Classe de gravité                          | Remarques |
|                             |   |  |  | Effets locaux                   | Niveau supérieur immédiat | Effets ultimes             |   |  |  |           |
| 1-3-3-1                     | Groupe électrogène                                  | Alimentation vanne                       | Défaut de démarrage dû à un problème d'alimentation en diesel ou à une défaillance mécanique | Défaillance du groupe           | Pas d'alimentation vanne  | Les vannes restent fermées | Jauge combustible et inspection régulière | Aucun (secours non disponible sur ce barrage)        | Envisager alimentation secours             |           |
| 1-3-3-2                     | Moteur treuil de vanne                              | Moment de torsion du mécanisme de levage | Pas de réception signal due à défaillance de transmission, d'émission ou de réception.       | Défaillance de signal démarrage | Pas d'alimentation vanne  | Les vannes restent fermées | Tests de communication en temps réel      | L'échec du test entraîne une procédure de réparation | Moteur de rechange disponible sur le site  |           |
| 1-3-3-3                     | Mécanisme de levage de la vanne                     | Déplacement de la vanne                  | Mécanisme de soulèvement coincé  |                                 |                           | Les vannes restent fermées | Inspection et maintenance régulière       | Pièces de rechange disponibles à 100 km              | Envisager des pièces de rechange sur place |           |

Table 3.1  
Sample FMEA Worksheet (CSA, 1993) with illustrative example data from Fig. 3.6.

| System _____            |   | Date _____               |   |                       |                   |                     |                                    |   |                |                              |
|-------------------------|---|--------------------------|---|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|---|----------------|------------------------------|
| Indenture Level _____   |   | Sheet _____ of _____     |   |                       |                   |                     |                                    |   |                |                              |
| Reference Drawing _____ |   | Compiled by _____        |   |                       |                   |                     |                                    |   |                |                              |
| Mission _____           |   | Approved by _____        |   |                       |                   |                     |                                    |   |                |                              |
| Identification number   | Item/functional Identification (nomenclature) | Function                 | Failure modes and causes  | Failure Effects       |                   |                     | Failure detection method           | Compensating provisions                 | Severity class | Remarks                      |
|                         |   |                          |   | Local Effects         | Next higher level | End effects         |                                    |   |                |                              |
| 1-3-3-1                 | Diesel generator                              | Power to gate            | Fails to start due to fuel supply problem or mechanical fault                                 | Generator fault       | No power to gate  | Gate remains closed | Fuel gauge and regular inspection  | None (standby not provided on this dam) |                | Consider standby power       |
|                         |   |                          | No signal received due to fault in signal transmission, signal initiation or signal reception | Start-up signal fault | No power to gate  | Gate remains closed | Real time communication tests      | Test failure initiates repair procedure |                |                              |
| 1-3-3-2                 | Gate hoist motor                              | Torque to lift mechanism | Spillway gate hoist motor fault   |                       | No lift to gate   | Gate remains closed | Regular inspection and maintenance | Spare motor available on site           |                |                              |
| 1-3-3-3                 | Gate lift mechanism                           | Gate displacement        | Lift mechanism seized   |                       |                   | Gate remains closed | Regular inspection and maintenance | Spare parts available 100 km away       |                | Consider spare parts on site |

Les principes fondamentaux de la quantification d'un arbre d'évènements concernent le processus de quantification :

1. Reproductibilité ;
2. Traitement de l'incertitude ;
3. Validation.

*Reproductibilité* : Il doit être possible à d'autres scientifiques de réviser, et, si nécessaire, de reproduire les calculs. Ceci implique que les modèles de calculs doivent être entièrement présentés, et les données mises à disposition.

*Incertitude* : Les évaluations des risques doivent être accompagnées d'une analyse de l'incertitude. L'analyse doit présenter explicitement les sources, la nature et l'ampleur des incertitudes.

*Validation* : Les analyses doivent pouvoir en principe, être contrôlable empiriquement, même si cela est difficile, voire impossible en pratique.

L'idée sous-jacente à ces principes généraux est de fournir des indications sur les objectifs à poursuivre, même si leur strict respect semble très difficile. Le fait qu'ils ne soient pas strictement totalement applicables ne signifie pas qu'ils doivent être abandonnés : l'analyste doit, si possible, s'assurer que le processus d'analyse est guidé par ces principes.

Les attributions de probabilités sont basées à la fois sur les données et les modèles phénoménologiques. Lorsque l'on possède de nombreuses données mais une connaissance théorique rudimentaire des phénomènes, la prévision statistique est souvent la meilleure, voire la seule approche pour l'attribution de probabilités. Inversement, avec une bonne connaissance théorique et un modèle représentatif du problème, mais peu de données, une prévision purement théorique est une approche courante. Mais dans l'absolu, l'objectif devrait être d'avoir à la fois un bon jeu de données, une bonne connaissance théorique et un modèle robuste associé, validé par une observation étendue des paramètres. Dans les situations moins idéales, avec peu de données de bonne qualité, et des connaissances théoriques imparfaites, les probabilités attribuées seront nécessairement très incertaines. Le jugement qui reflète l'expérience se répartit entre la compréhension théorique, le modèle et les données, et la qualité de ce jugement croît avec le nombre des données et l'aboutissement du modèle.

Les considérations présentées ci-dessus montrent qu'il est nécessaire d'avoir :

- Des bases de données importantes et exhaustives des causes de défaillances ou d'incidents pour les barrages ;
- Des modèles phénoménologiques solides des dangers qui déclenchent les modes de défaillance ;
- Des modèles de mécanismes de défaillance et de rupture de barrage.

Dans tous les cas, une identification complète de l'incertitude présentée sous forme de paramètres synthétiques, qu'ils soient mesurés ou issus du jugement de l'expert, est un objectif fondamental.

The key principles of event tree quantification are that the quantification process should be based on the following principles:

1. Reproducibility;
2. Treatment of Uncertainty;
3. Validation.

*Reproducibility:* It should be possible for scientific peers to review and, if necessary, reproduce all calculations. This entails that the calculation models are fully specified and the ingredient data is made available.

*Uncertainty:* Estimates of risk should be accompanied by an analysis of the uncertainty in the estimate. The analysis should be explicit about the sources, nature and magnitude of uncertainties.

*Validation:* Analyses should, in principle, be amenable to empirical control even though in practice this might be difficult and even impractical.

The idea behind these general principles is to provide guidance as to what should be striven for, even if strict adherence to them is impractical. That they might not be achievable in a strict sense does not mean that they should be abandoned: rather the analyst is required to ensure that the analysis effort was guided with these principles as goals for which to strive.

Probability assignments are based on both data and phenomenological models. With extensive data but only a rudimentary theoretical understanding of phenomena, statistical prediction is usually the best (or only) approach to probability assignment. In contrast, with good theoretical understanding and a representative model of the phenomena, but little data, a purely theoretical prediction is the common approach. Ideally, both good data, and a good theoretical understanding with an associated robust model in which the parameters of the model are identified by extensive observation, should be the goal. In the less-than-ideal situation, where there is little in the way of good quality data nor a good theoretical understanding, assigned probabilities will necessarily be highly uncertain. Judgment reflecting experience is overlain across the theoretical understanding, the model and the data, and the quality of judgment increases as both data and model completeness increase.

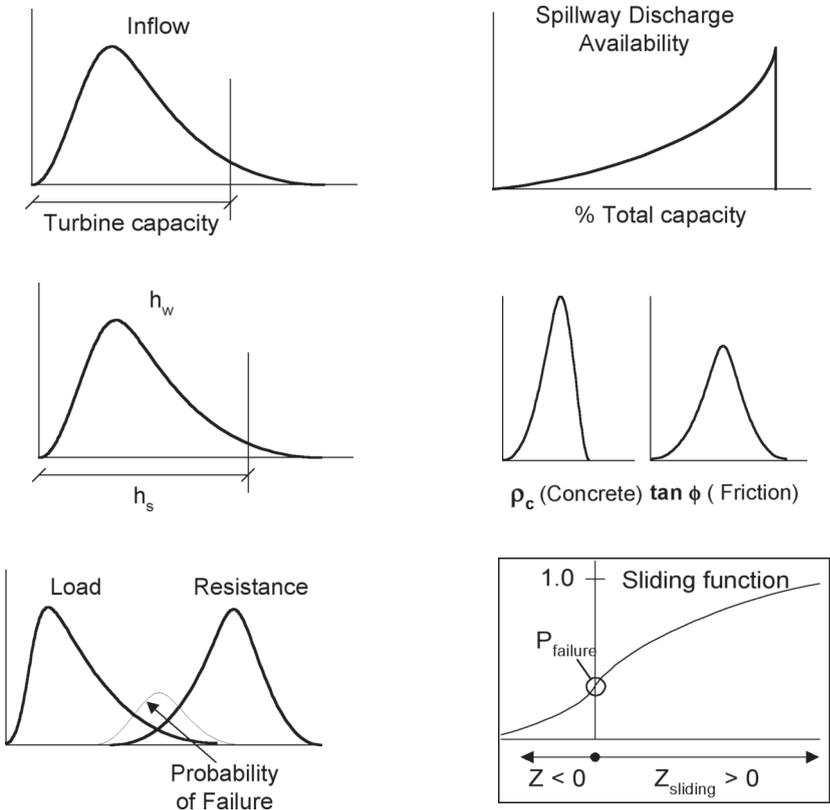
All of the above considerations point to a need for:

- Large and comprehensive databases of causes of dam failures and incidents;
- Robust phenomenological models of hazards that initiate failure modes;
- Models of failure and dam breach mechanisms.

In all cases, full specification of the uncertainty in synthetic, measured or expert opinion parameters is a key objective.

L'application de ces idées est illustrée de manière simplifiée en considérant la sécurité du barrage décrit en Fig. 3.8. Pour des exemples détaillés, le lecteur se reportera à la littérature abondante fournie dans les références. Cet exemple simplifié délibérément la physique du glissement des barrages en béton, notamment les hypothèses concernant les sous-pressions (celles-ci sont considérées comme étant connues avec précision, ce que les auteurs savent être impossible). L'unique objectif de cet exemple est de présenter les concepts sous-jacents que l'analyste doit traiter. Cette simplification de la réalité est voulue, pour éviter que cet exemple soit utilisé directement dans la pratique.

Le glissement de ce barrage hypothétique surviendra lorsque des débits entrants importants se combinent avec une défaillance de vannes, entraînant une montée du réservoir suffisante pour que la force de pression hydrostatique dépasse la résistance de frottement. La fonction de glissement, «  $Z$  », comprend deux paramètres incertains,  $F$  (résistance) et  $P$  (contrainte), représentée par des distributions probabilistes (fonctions de densité de probabilité). Le barrage commencera à glisser lorsque la contrainte  $P$  sur le barrage est supérieure à la résistance de frottement ( $F$ ) sur la base. Cela se produit lorsque la fonction de glissement ( $Z=F-P$ ) devient négative. Ces distributions de probabilités sont constituées de paramètres plus fondamentaux, « le pic de débit entrant », « la fiabilité » du système de vanne d'évacuateur (Fig. 3.9(a) et 3.9(b)), présentant toutes les deux les pics d'élévation du réservoir, " $h_w$ " (Fig. 3.9(c)).



Application of these ideas is illustrated in a simplified way by considering the safety of the dam depicted in Fig. 3.8. For detailed examples, the reader is referred to the extensive literature provided in the references. This example deliberately oversimplifies the physics of the sliding stability of concrete dams, particularly the assumptions about uplift (note the uplift has been presented as known exactly, which the authors realize is impossible). The sole purpose of this example is to present the underlying concepts with which the analyst must deal. The oversimplification of reality as presented is deliberate to avoid any implications that this example can be used directly in practice.

Sliding of the hypothetical dam will occur when high inflows and gate failure combine to give a reservoir level that is high enough for the force due to the hydrostatic pressure to exceed the frictional resistance. The sliding function, “Z” comprises two uncertain parameters, F (resistance) and load (P) represented by probability distributions (probability density functions). The dam will begin to slide when the load on the dam (P) exceeds the frictional resistance along the base (F). This will occur when the sliding function ( $Z = F - P$ ) falls below zero. These probability distributions are made up of more fundamental parameters, “the inflow peaks”, the “reliability” of the spillway gate system (Figs. 3.9(a) and 3.9(b)), both of which determine the reservoir elevation peaks, “ $h_w$ ” (Fig. 3.9(c)).

Fig. 3.9(a)  
Distribution of inflow peaks  
*Distribution des pics de débit entrant*

Inflow  
Turbine capacity  
Spillway decharge availability  
Total capacity

Fig. 3.9(b)  
Gate reliability  
*Fiabilité des vannes*

*Débit entrant*  
*Capacité des turbines*  
*Décharge possible par l'évacuateur*  
*Capacité totale*

Fig. 3.9(c)  
Distribution of reservoir level peaks  
*Répartition des pics d'élévation du réservoir*

Concrete  
Friction

Fig. 3.9(d)  
Material properties  
*Propriétés des matériaux*

*Béton*  
*Frottement*

Fig. 3.9(e)  
Load-resistance envelope  
*Enveloppe contrainte-résistance*

Load  
Resistance  
Probability of failure  
Sliding function

Fig. 3.9(f)  
Sliding failure distribution  
*Répartition de la défaillance de glissement*

*Contrainte*  
*Résistance*  
*Probabilité de défaillance*  
*Fonction de glissement*

La relation entre P et F est déterminée par intégration de ces distributions. Les constantes définies et les relations constitutives (Fig. 3.9(e)) avec la répartition cumulée de la fonction de glissement  $Z_{\text{glissement}}$  sont présentées en Fig. 3.9(f).

Les autres paramètres du modèle, angle de frottement, «  $\phi$  » et densité du béton, «  $\rho_c$  » sont déterminés grâce aux mesures et/ou à l'expérience professionnelle (Fig. 3.9(d)). On suppose que les incertitudes pour B, b, g et  $\rho_w$  sont négligeables.

Le résultat présenté en Fig. 3.9(f) sera le même que celui obtenu en Fig. 3.6.

*Analyse de conséquences* : Il est toujours nécessaire de déterminer les conséquences d'une rupture de barrage d'une certaine façon. L'ampleur de ce travail dépend de l'information que l'analyse de risques doit fournir au processus de décision. La probabilité de certaines conséquences (par exemple dommages aux biens) d'une rupture de barrage peut être donnée en utilisant des techniques de modélisation de rupture (CIGB, 1998) et des techniques d'estimation de valeur/analyse économique. La modélisation par analyse structurelle, comme celle décrite plus haut, peut faire partie du processus d'analyse des conséquences.

Les conséquences d'une rupture de barrage sont théoriquement groupées en deux catégories principales ; dommages entraînés par l'impact direct de l'onde de submersion, et dommages indirects. Les dommages directs sont surtout des pertes humaines, des pertes ou dommages aux biens et infrastructures, et des atteintes environnementales. Les dommages indirects (coûts des mesures d'urgence, perte de production, douleurs humaines, traumatismes sociétaux et perte de confiance dans les organismes publics) couvrent un large domaine de considérations complexes sociales, économiques et environnementales, qui demandent l'intervention de spécialistes. Il existe de nombreux systèmes de classification pour classer les conséquences en sous-groupes, avec les risques associés, en général suivant leur type (sécurité des personnes, économique/financier, environnemental et immatériel) et suivant le groupe subissant ce risque (propriétaire du barrage, population menacée, et ensemble de la société au niveau local, régional ou national). Le choix du système dépend du contexte de décision, des conventions acceptées localement et de l'approche permettant d'informer au mieux le processus de décision.

L'estimation des incertitudes associées aux conséquences d'une rupture de barrage pose des difficultés immenses, car les scénarios devant être modélisés sont uniques, complexes, et peu connus. Les méthodes d'estimation de la répartition de probabilités de ces considérations sont en cours de développement, mais de nombreuses recherches supplémentaires sont nécessaires pour affiner ces méthodes.

Les conséquences d'une rupture de barrage sont bien représentées par ces distributions de probabilités, car elles peuvent varier considérablement, les pertes maximales ne représentant que l'un des scénarios qui pourraient se dérouler. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de l'analyse de la sécurité des personnes où, contrairement à ce qui se passe pour les accidents aériens, le scénario de perte maximale peut très bien n'être qu'un faible contributeur au risque total. La distribution de probabilités pour les conséquences d'une rupture peut être tirée d'une analyse par arbre d'évènements décrivant la manière dont se produit l'onde de rupture. L'utilisation d'arbres d'évènements peut être une aide très utile pour la planification des alertes, car elle illustre toutes les manières dont ces alertes peuvent se dérouler.

The various other model parameters such as friction angle, “ $\phi$ ” and the density of the concrete, “ $\rho_c$ ” are determined through measurement and/or the experience of the profession from past measurements (Fig. 3.9(d)). It is assumed that the uncertainties in B, b, g and  $\rho_w$  are negligible.

The relationship between P and F is determined by integrating these distributions, defined constants and constitutive relationships (Fig. 3.9(e)) with the cumulative distribution of the sliding function  $Z_{\text{sliding}}$  as illustrated in Fig. 3.9(f).

The result as obtained in Fig. 3.9(f) will be the same as that obtained from Fig. 3.6.

*Consequence Analysis:* It is always necessary to determine the consequences of dam failure in some way. The extent to which this determination is required depends on how the risk analysis informs the decision process. The probability distributions of some (e.g. property damage) of the consequences of dam failure can be enumerated using dam-break modelling techniques (ICOLD, 1998) and value estimation/economic analysis techniques. Structural analysis modelling, of the type described above, may form part of the process of consequence analysis.

Dam failure consequences are typically grouped into two main categories; direct damages due to contact with the floodwaters, and indirect damages that result from the direct damages. The direct damages are predominantly loss of life, physical loss/damage to property and infrastructure, and environmental degradation. Indirect damages (such as costs of emergency response, loss of production, personal grief, societal trauma and loss of confidence in public institutions) cover a wide range of complex social, economic and environmental considerations that require the input of specialist professionals. There are various classification systems for further subdividing consequences, and the associated risks, usually according to type (such as life safety, economic/financial, environmental, and intangible) and the group that bears the risk (dam owner, population at risk, and community - at local, regional or national level). The choice of system depends on the decision context, any locally accepted conventions and the approach that best informs the decision process.

The estimation of the uncertainties associated with dam failure consequences poses immense difficulties because the scenarios that must be modelled are unique, complex and poorly understood. Methods for estimating the probability distributions of these considerations are under development, but a great deal of further research is required to refine the estimation procedures.

Dam failure consequences are best represented by probability distributions, as the probability of the consequences materialising given dam failure can have a very wide variation, with the maximum possible loss being just one of many scenarios that can emerge. This is particularly true in the case of life safety analysis where, unlike airline accidents, the maximum possible loss scenario could well be one of the smallest contributors to the total risk. Probability distributions for dam failure consequences can be derived from event tree analysis of how the dam breach inundation event unfolds. The use of event trees can be a very helpful aid to emergency planning as they permit the illustration of the numerous ways that dam failure emergencies can unfold.

*Schémas d'indices de risque* : les indices (ou scores) de risque permettent de caractériser utilement les différents problèmes lors des premières étapes de l'évaluation des risques. Parfois, une méthode d'indice de risque peut fournir une information suffisante pour apporter une information concrète au processus de décision. En présentant les éléments fondamentaux d'une analyse de risques en termes de conséquences d'une rupture de barrage, et la compréhension des problèmes liés à la performance du barrage, les méthodes d'indices de risque peuvent trouver une application aussi bien pour un barrage isolé que pour un ensemble de barrages. Des références peuvent être trouvées au chapitre 4 et dans la sous-section 7.2

*Attribution de probabilités* : les incertitudes concernant les données et la connaissance des paramètres (qui sont également des données, mais pas forcément incluses dans une base de données de fiabilité) qui contribuent au risque du système, sont des constructions mathématiques, représentées en général sous forme de distribution de probabilités. Les autres incertitudes inhérentes aux modèles analytiques, sont représentées par des pondérations et non des probabilités (Morgan et Henrion, 1990). Les propriétés de ces distributions de probabilités sont définies par des paramètres standard, comme la moyenne, «  $\bar{X}$  » et l'écart type, «  $\sigma$  » (Benjamin et Cornell, 1970). Les distributions elles-mêmes sont générées par un processus scientifique de traitement de données, s'appuyant sur :

- Des bases de données de grande taille ;
- Des procédures objectives d'échantillonnage, parfois complétées par des techniques d'adaptation de distribution ;
- Une génération synthétique de données, lorsqu'il n'existe pas de données objectives, mais lorsque des données plus fondamentales peuvent être obtenues ;
- Et, en dernier ressort lorsqu'il n'existe aucun moyen objectif de générer des données, en recueillant les opinions des experts en ce domaine.

Indépendamment du mode de génération des données, il est normalement nécessaire de valider les données, y compris les opinions d'experts (Morgan et Henrion, 1990), pour démontrer qu'elles sont appropriées pour une utilisation en analyse de risques. La distribution de probabilité des données validées est alors générée selon des procédures mathématiques et statistiques reconnues (Benjamin et Cornell, 1970). Pendant tout ce processus, le jugement des experts joue un grand rôle, et quand les données sont rares, il peut être nécessaire que les experts développent des modèles physiques rationnels sur lesquels baser leur opinion. Dans certains cas, la génération de la distribution initiale de probabilités peut demander l'utilisation des techniques statistiques bayésiennes (Morgan et Henrion, 1990, Cooke, 1991). Lorsque des données supplémentaires deviennent disponibles, les techniques bayésiennes peuvent être utilisées directement pour affiner les distributions.

### **3.2.5. Représentation du risque et présentation des résultats**

Les couples « probabilité-conséquence » (f,N) générés par l'analyse de risques permettent de présenter les résultats de la manière la plus basique, graphiquement

*Risk Index Schemes:* Risk index (or risk scoring) schemes, provide a useful way of characterising risk issues at the early stages of a risk assessment. Sometimes a risk index method can provide sufficient information to genuinely inform a decision process. By reflecting the key elements of a risk analysis in terms of consequences of dam failure and the understanding of the concern about the performance of the dam, risk index methods find application to individual dams and portfolios of dams. References can be found in Chapter 4 and Sub-section 7.2.

*Probability Assignment:* The uncertainties in data and in knowledge of parameters (parameters are also data, but not necessarily contained in a reliability database) that contribute to the risk in the system are mathematical constructs, normally represented as probability distributions. The remaining uncertainties, which pertain to the analytical models, are represented by weights and not by probabilities (Morgan and Henrion, 1990). The properties of these probability distributions are defined by standard parameters such as the mean, " $\bar{X}$ " and standard deviation, " $\sigma$ " (Benjamin and Cornell, 1970). The distributions themselves are generated through an established scientific data generation process including:

- Large scale databases;
- Objective sampling procedures, sometimes supplemented by distribution fitting techniques;
- Synthetic data generation, where no objective data exist, but where more fundamental data can be obtained;
- And, as a last resort when no objective way of generating data is available; through elicitation of the opinions of subject matter experts.

Regardless of how data are generated, it is normally necessary to qualify the data, including expert opinion data (Morgan and Henrion, 1990), to demonstrate that it is appropriate for use in the risk analysis. The probability distributions of the qualified data are then generated in accordance with accepted mathematical and statistical procedures (Benjamin and Cornell, 1970). Throughout, a great deal of expert judgement may be required, and when data are scarce, it may be necessary for the experts to develop rational physical models on which to base their opinions. In some cases, the generation of the initial probability distribution may require application of Bayesian statistical techniques (Morgan and Henrion, 1990, Cooke, 1991). As more data become available, Bayesian techniques can be used directly to update the distributions.

### **3.2.5. Representations of risk and presentation of results**

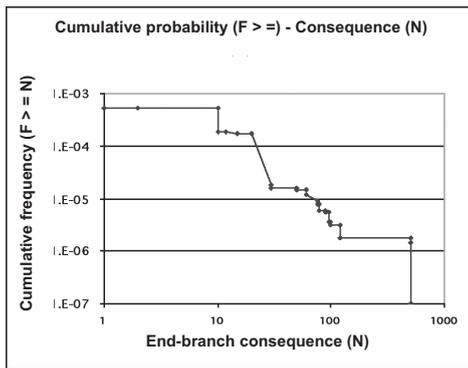
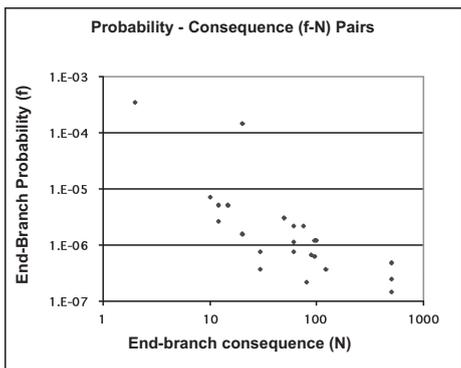
The "probability-consequence" (f,N) pairs generated through risk analysis provide the most basic way to present the results and are often represented

sous forme d'un tracé  $f, N$  (Fig. 3.10(a)). La valeur totale attendue (somme des produits individuels  $f, N$ ) et l'écart type associé peuvent être calculés directement. Les mêmes données sont souvent représentées graphiquement sous une forme cumulative ( $F-N$ ) comme indiqué sur la Fig. 3.10 (b), où la valeur attendue est la surface située sous la courbe  $F-N$ . Le terme « fréquence » a été souvent utilisé en relation avec les courbes  $F-N$ , de manière abusive car dans le contexte de l'analyse des risques, qui inclut les probabilités, le terme «  $F$  » n'est pas strictement une fréquence telle qu'elle est définie dans le glossaire. «  $F$  » n'est pas une fréquence observée, car elle prend en général en compte des « probabilités subjectives » telles que définies dans le glossaire. En effet, les valeurs très faibles de probabilités associées avec la sécurité des barrages sont en général subjectives, car il n'y a pas de précédent, et ne sont pas déterminées par modélisation à partir des premiers principes ou d'autres moyens.

Les couples  $f, N$  peuvent être également représentés sous forme de matrice, comme les résultats d'une analyse qualitative ou d'indice de risques.

La « valeur attendue » est simplement la somme des produits des probabilités des différents scénarios de rupture de barrage et de leurs conséquences. C'est donc une construction mathématique qui n'existe jamais en réalité, car le résultat réel serait soit aucune conséquence (pas de défaillance), soit les conséquences complètes d'une rupture de barrage.

Ces différentes manières de présenter les risques sont appropriées pour des présentations techniques. Elles peuvent ne pas être très adaptées pour donner de l'information lors de présentations non techniques et des méthodes plus directes de communication de ces concepts complexes peuvent être nécessaires. L'importance de la communication ne doit pas être sous-estimée, car l'acceptation des risques dépend d'une certaine façon de la compréhension de l'information par les destinataires.



### 3.3. APPRÉCIATION DES RISQUES – LES PRINCIPES

#### 3.3.1. Introduction

L'appréciation des risques est « le processus d'examen et de jugement de l'importance d'un risque » (voir glossaire). Les résultats des appréciations de risque

graphically as an  $f,N$  plot (Fig. 3.10(a)). The total expected value (the sum of the individual  $f,N$  products) and the associated standard deviation can be calculated directly. The same data are frequently represented graphically in cumulative (F-N) form as illustrated in Fig. 3.10(b), where the expected value is the area under the F-N curve. While the term “frequency” has been commonly used in relation to F-N curves, this has been a loose use of that term, since in the context of risk analysis, which includes probability, the term “F” is not strictly a frequency as defined in the Glossary. Rather than being an observed frequency, “F” has typically included components that are “subjective probabilities” as defined in the Glossary. Indeed, the very low values of likelihoods associated with dam safety are generally subjective probabilities as they are without precedent, and are not readily determined through modelling from first principles or other means.

Alternatively,  $f,N$  pairs can be represented in matrix form, as can the results of a qualitative or risk index analysis.

The “expected value”, is simply the sum of the products of the probabilities of the various scenarios of dam failure and their associated consequences. As such, it is a mathematical construct, which never actually occurs, because the actual outcome is always either zero consequences (dam failure has not occurred) or the full consequences of a dam failure.

These various ways to present risk information are appropriate for informed technical audiences. They may not be particularly informative for communication with non-technical audiences and more straightforward methods of communicating these complex concepts may be required. The importance of communication cannot be overstated as tolerability of risk depends to a degree on how well the risk information is understood by those receiving it.

Fig. 3.10(a)  
 $f,N$  graphical representation  
*Représentation graphique de  $f,N$*

End-branch consequence

Fig. 3.10(b)  
 F-N graphical representation  
*Représentation graphique de F-N.*

*Conséquence en fin de branche*

### 3.3. RISK EVALUATION – THE PRINCIPLES

#### 3.3.1. Introduction

Risk evaluation is “*the process of examining and judging the significance of risk*” (see Glossary). The outcomes of risk evaluation are inputs to the decision

alimentent le processus de décision, mais ne dictent pas celle-ci. L'utilisation d'information sur les risques, notamment les résultats d'appréciations des risques, dans le processus de décision, est présentée dans la sous-section 3.4.

L'évaluation des risques donne la possibilité de gérer la sécurité des barrages en utilisant un cadre d'évaluation commun à toutes les installations potentiellement dangereuses, et pas uniquement aux barrages. C'est pourquoi, dans cette section, l'appréciation des risques est présentée dans une perspective générale. Nous ne donnons pas d'exemples spécifiques de stratégies d'appréciation des risques pour les barrages, mais certains sont référencés dans la section 4.3.2. La distinction entre risque tolérable et risque acceptable, et la question de savoir qui doit les définir, sont présentés rapidement dans la suite de cette introduction. Dans la sous-section 3.3.2, la division des risques entre problèmes individuels et problèmes sociétaux pour permettre l'appréciation des risques tolérables est introduite, avec mention de quelques considérations sociologiques sur les risques perçus. La sous-section 3.3.3 présente quelques principes généraux servant de base aux critères de risque tolérable par les individus ou par la société. Quittant la perspective plutôt philosophique des sections précédentes, la sous-section 3.3.4 présente la politique générale d'acceptation des risques de la Direction de la Santé et de la Sécurité (Health and Safety Executive, HSE) du Royaume-Uni. L'approche du HSE illustre le fait qu'en général, les approches pratiques utilisent des critères hybrides au lieu de s'appuyer sur les critères individuels des principes généraux. Les sous-sections 3.3.5 et 3.3.6 s'appuient elles aussi sur les travaux du HSE pour présenter l'ALARP et l'incertitude, deux points importants pour l'appréciation des risques. On considère que les travaux du HSE présentent une valeur potentielle pour de nombreux pays de systèmes législatifs semblables à celui du Royaume-Uni, mais leur présentation dans cette section n'implique pas qu'ils sont adaptés pour tous les pays.

Comme il a été maintes fois mentionné dans ce bulletin, l'application de l'évaluation des risques peut varier d'un pays à l'autre. L'étape d'appréciation des risques voit intervenir des valeurs sociétales, réglementaires, légales, les intérêts des propriétaires et d'autres intervenants, ainsi que des jugements de valeur, et il n'est donc pas surprenant de voir apparaître des variations d'un pays à l'autre, voire même au sein d'un même pays, plus évidentes lors de cette étape que pour toutes les autres étapes du processus d'évaluation des risques.

Le sujet de l'appréciation des risques n'est pas facile, notamment pour une personne de formation technique qui serait tentée d'adopter des approches directes et purement quantitatives. La littérature présentant les principes d'une politique de protection des personnes est relativement rare. Pour affronter ce sujet, nous devons passer au monde technique de l'ingénierie des barrages au monde plus subjectif des valeurs et des jugements, peut-être plus proche de la réalité. Tous les systèmes technologiques, y compris les barrages, ont une place au sein d'un monde complexe, et aujourd'hui, dans de nombreux pays, la société désire logiquement imposer à la communauté technique le niveau de sécurité devant être respecté par les systèmes technologiques, contrairement à ce qui se produisait dans le passé.

On fera particulièrement attention à la distinction entre les termes risque acceptable et risque tolérable. Un risque acceptable est défini par le HSE (1995) comme « *un risque que chaque personne concernée dans le cadre de sa vie privée ou*

process; but they do not prescribe the decision. The use of risk information, including the outcomes of risk evaluations, in the development of decision recommendations is addressed in Sub-section 3.4.

Risk assessment provides an opportunity to manage dam safety using a framework of risk evaluation that is common to all major hazardous facilities and not just dams. Thus, in this section, risk evaluation is approached from a general perspective rather than for dams in particular. Specific examples of risk evaluation frameworks for dams are not given, although some are referenced in Section 4.3.2. The distinction between tolerable and acceptable risk and the question of who should define what constitutes tolerable risk are briefly discussed in the remainder of this introduction. In Sub-section 3.3.2, the division of risk into individual and societal concerns for the purpose of tolerable risk evaluation is introduced with reference to some sociological considerations of perceived risk. Sub-section 3.3.3 introduces some general principles upon which all individual and societal tolerable risk criteria are based. In an attempt to shift from the more philosophical slant of the earlier sections, the United Kingdom Health and Safety Executive's (HSE) generalised framework for the tolerability of risk is summarised in Sub-section 3.3.4. The HSE approach illustrates that practical approaches typically use hybrid criteria, rather than relying on single general principle criteria. Sub-sections 3.3.5 and 3.3.6 continue to draw heavily on the work of the HSE to present the important topics of ALARP and uncertainty in risk evaluation. Although the HSE work is considered to be of potential value in many countries with legal systems similar to the UK, its discussion in this section does not imply that it is suitable for adoption in all countries.

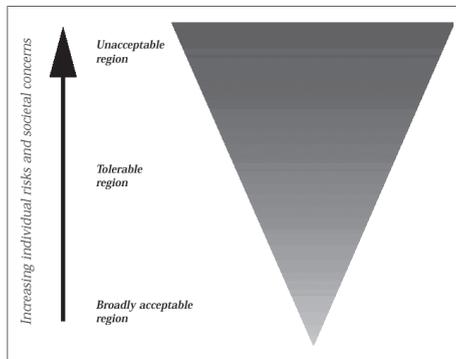
As has been stated repeatedly in this bulletin, the application of risk assessment can be expected to vary from country to country. Since the risk evaluation stage is where societal, regulatory, legal, owners and other values and value judgements enter the decision process, it should not be surprising that country to country variations, and indeed within country variations, will be more evident in risk evaluation than in any other stage of the risk assessment process.

The topic of risk evaluation is not an easy one, especially for a technically minded person who may be looking for straightforward and purely quantitative approaches. There is little in the literature that provides a coherent exposition of the principles of public safety policy formulation. To grapple with this topic requires that we cross the boundary from the technical world of dam safety engineering into the far more subjective world of values and value judgements. Yet this is the reality. All technological systems, dams included, exist within that broader world and today, in many countries, society expects that it will dictate to the technological community the safety and other goals that should be met by technological systems, rather than the opposite, as has often been the case in the past.

The terms acceptable risk and tolerable risk should be carefully distinguished. Acceptable risk is defined by the HSE (1995) as *“a risk, which for the purposes of life or work, everyone who might be impacted is prepared to accept assuming no*

professionnelle est prête à accepter, en l'absence d'évolution des mécanismes de contrôle de risque. » Un risque tolérable <sup>4</sup> est « un risque avec lequel la société peut vivre (1) pour pouvoir s'assurer certains bénéfices nets. C'est (2) un risque que nous ne considérons pas comme négligeable ou pouvant être ignoré, mais que nous devons (3) garder sous contrôle et (4) réduire encore quand et comme nous le pouvons » (voir glossaire).

Le HSE (2001) a développé un cadre général de tolérabilité des risques (TOR), illustré par la Fig. 3.11, utile pour expliquer la relation entre risque (généralement) acceptable et risque tolérable. La largeur du triangle de la Fig. 3.11 représente un niveau de risque croissant pour un danger donné, mesuré pour un individu et pour la société. Les trois régions de risque suivantes sont représentées :



1. Les risques inacceptables sont proches du sommet du triangle – dans cette région les risques seraient « considérés comme inacceptables quels que soient les bénéfices » à moins qu'ils ne puissent être réduits pour revenir dans des régions inférieures, ou « seules des circonstances exceptionnelles peuvent permettre une telle activité ou pratique ».
2. Les risques généralement acceptables sont proches de la base du triangle – « les risques se trouvant dans cette région sont considérés en général comme insignifiants et bien contrôlés » et « ne demandent théoriquement pas d'actions supplémentaires pour les réduire, à moins que des mesures facilement applicables n'existent » (principe ALARP).
3. Les risques tolérables se trouvant entre ces deux régions – « sont des risques typiques de certaines activités que les personnes sont préparées à accepter pour assurer des bénéfices, en demandant que :
  - a. la nature et le niveau des risques soient correctement estimés et les résultats utilisés pour déterminer des mesures de contrôle;
  - b. les risques résiduels ne soient pas excessivement élevés et maintenus aussi bas qu'il est raisonnablement possible (principe ALARP);

---

<sup>4</sup> Les nombres entre parenthèses identifient quatre « conditions de tolérabilité des risques » et sont utilisés dans la suite de cette section. La quatrième condition peut être considérée équivalente au principe ALARP.

changes in risk control mechanisms.” Tolerable risk <sup>6</sup> is “a risk within a range that society can live with (1) so as to secure certain net benefits. It is (2) a range of risk that we do not regard as negligible or as something we might ignore, but rather as something we need to (3) keep under review and (4) reduce it still further if and as we can” (see Glossary).

The HSE (2001) has developed a generalised framework for tolerability of risk (TOR), which is illustrated in Fig. 3.11, and which is useful for explaining the relationship between (broadly) acceptable and tolerable risk. The width of the triangle in Figure 3.11 represents an increasing level of risk for a particular hazard, measured by the individual risk and societal concerns. The following three regions of risk are represented:

Fig. 3.11  
HSE Framework for the Tolerability of Risk (Fig. 1 from HSE 2001)  
*Cadre HSE de tolérabilité des risques (Fig. 1 de HSE 2001)*

|   |  |
|---|--|
| Increasing individual risks and societal concerns | <i>Risques individuels et sociétaux croissants</i> |
| Unacceptable region                               | <i>Région risques inacceptables</i>                |
| Tolerable region                                  | <i>Région risques tolérables</i>                   |
| Broadly acceptable region                         | <i>Région risques acceptables</i>                  |

1. Unacceptable risks near the top of the triangle – in this region risks would be “regarded as unacceptable whatever the benefits” unless they can be reduced to fall in a lower region or “there are exceptional reasons for the activity or practice to be retained.”
2. Broadly acceptable risks near the bottom of the triangle – “risks falling into this region are generally regarded as insignificant and adequately controlled” and “would not usually require further action to reduce risks unless reasonably practicable measures are available” (i.e. ALARP principle).
3. Tolerable risks between the other two regions – “risks in this region are typical of the risks from activities that people are prepared to tolerate in order to secure benefits, in the expectation that:
  - a. the nature and level of the risks are properly assessed and the results used properly to determine control measures;
  - b. the residual risks are not unduly high and kept as low as reasonably practicable (the ALARP principle); and

---

<sup>6</sup> Numbers in brackets identifies four ‘conditions for tolerability of risk’ and are referred to as such later in this section. The fourth condition can be considered to be equivalent to the ALARP principle.

*c. les risques soient passés périodiquement en revue pour s'assurer qu'ils sont toujours conformes aux critères ALARP ».*

Le HSE (2001) insiste sur le fait que « *tolérable ne signifie pas acceptable* » et Fischhoff *et al.* (1981) déclare : « *On accepte des options, pas des risques* » Les risques tolérables, plutôt que les risques acceptables, sont de plus en plus reconnus comme l'objectif de gestion des risques dans certains pays. Les conditions pour la tolérabilité des risques (voir les quatre conditions dans la définition de risque tolérable dans le paragraphe précédent) peuvent être utilisées pour évaluer la menace pesant sur les personnes, l'économie, la survie de l'organisation privée ou gouvernementale propriétaire du barrage, la structure sociale ou l'environnement. Il est clair que de nombreuses conséquences concernent la société dans son ensemble. Les conséquences financières pour le propriétaire d'une rupture de son barrage paraissent à première vue ne concerner que ce dernier, mais elles peuvent avoir également des implications importantes pour la société au-delà de l'organisation du propriétaire si la continuité de l'approvisionnement en eau ou en électricité est mise en danger, ou si les intérêts des actionnaires sont en jeu.

La plupart des barrages, en cas de rupture, auraient des conséquences néfastes pour la collectivité, pertes de vies humaines, dommages aux tiers et à l'environnement. C'est pourquoi, idéalement, les critères de risques tolérables pour la collectivité doivent être déterminés par un processus politique basé sur les valeurs sociétales. Pourtant, les Pays-Bas sont le seul exemple connu de critères de risques approuvés au niveau législatif. Les critères législatifs néerlandais ont joué un rôle important dans la conception des défenses contre les inondations de ce pays (TAW 1990).

Lorsque le législateur ne remplit pas ce rôle, il existe des exemples de critères de risques tolérables, ou des indications proposées par des organismes de contrôle (HSE, 2001, Planning NSW, 2002), des organisations professionnelles (par exemple voir ANCOLD, 1994 sous « *Australie* » dans la section 4.3.2) et des propriétaires (voir par exemple US Bureau of Reclamation, 1997 et 2003 sous « *États-Unis* » dans la section 4.3.2).

### **3.3.2. Perception du risque**

La façon dont les personnes perçoivent les risques et les évaluent est complexe. Cette perception est dépendante de l'attitude des médias et de l'actualité récente, mais reste un critère important pour la prise de décision dans le domaine des risques, et pour l'établissement de critères d'appréciation des risques. La distinction importante existant entre les risques pris volontairement ou subis est bien connue (Starr, 1969), mais bien d'autres caractéristiques des risques affectent leur perception. Les exemples qui suivent sont fournis par Lowrance (1976) :

- effet immédiat – effet retardé
- pas d'alternative possible – beaucoup d'alternatives possibles
- risque bien connu – risque non connu
- exposition essentielle – exposition exceptionnelle
- exposition professionnelle – exposition privée

c. *“the risks are periodically reviewed to ensure that they still meet the ALARP criteria”.*

The HSE (2001) emphasises that *“tolerable does not mean acceptable”* and Fischhoff *et al.* (1981) state: *“One accepts options, not risks”*. Tolerable risk rather than acceptable risk is becoming generally recognized as a goal for risk management in some countries. Conditions for the tolerability of risk (see the four conditions in the definition of tolerable risk in the previous paragraph) can be used to evaluate threats to people, the economy, the survival of a private or governmental dam owner organization, societal structure, or the environment. Clearly many of these consequences are of concern to society as a whole. Although factors such as the financial implications of dam failure for the dam owner alone might appear at first to be issues for the dam owner to decide, they too can have important societal implications beyond the owner’s organization if the continuity of water or electricity supply is jeopardised or the value of shareholders investments would be affected.

Most dams, if they failed, would cause adverse consequences for the interests of the community, such as loss of life, third party property damage, and environmental damage. Therefore, in the ideal situation, tolerable risk criteria that address protection of the interests of the community should be determined through the political process based on societal values. However, the Netherlands stands out as the only known example of legislatively approved risk criteria. The Dutch legislated criteria have played an important role in the design of that country’s flood defences (TAW 1990).

Where legislatures are not taking the lead, there are examples of tolerable risk criteria or guidelines proposed by regulators (HSE, 2001, Planning NSW, 2002), professional bodies (e.g. see ANCOLD, 1994 under “Australia” in Section 4.3.2), and dam owners (e.g. see US Bureau of Reclamation, 1997 and 2003 under “United States” in Section 4.3.2).

### **3.3.2. Perception of risk**

The way that people perceive risks and apply value judgements is complex. It tends to be responsive to media attention and recent experience. Nevertheless, it is an important basis for decision-making about risks and for establishing risk evaluation criteria. The important distinction between voluntary and involuntary risks is well recognised today (Starr, 1969), but there are many other important characteristics of risks that affect the perception of risk. The following examples are provided by Lowrance (1976):

- effect immediate – effect delayed
- no alternatives available – many alternatives available
- risk known with certainty – risk not known
- exposure is an essential – exposure is a luxury
- encountered occupationally – encountered non-occupationally

- danger « commun » – danger « terrible »
- affecte le commun de la population – affecte des personnes particulièrement sensibles
- utilisation programmée – possibilité de mauvaise utilisation
- conséquences réversibles – conséquences irréversibles.

De telles distinctions sont importantes lorsque l'on effectue des comparaisons entre différents risques naturels ou technologiques. Cette liste nous rappelle également que des représentations quantifiées des conséquences, comme les pertes financières ou le nombre de victimes, ne permettent d'avoir qu'une image incomplète de l'ensemble des conséquences d'une rupture de barrage, la réalité incluant de nombreux aspects non quantifiables ou immatériels.

À partir d'études sur les risques perçus, les inquiétudes des personnes ont été groupées en deux grandes catégories :

1. Inquiétudes individuelles – « *Comment les individus perçoivent le risque d'un danger spécifique qui les affecte ainsi que les biens auxquels ils tiennent... ils accepteraient de vivre avec un risque qu'ils ne pensent pas négligeable, s'ils leur assure, à eux ou à la société, un certain bénéfice* » dans la mesure où ces risques sont « *maintenus à un faible niveau et clairement contrôlés* » (HSE 2001).
2. Inquiétudes sociales – « *les risques ou menaces des phénomènes dangereux pouvant toucher la société, et qui, s'ils se produisaient, pourraient avoir des répercussions néfastes sur les institutions responsables de la mise en place des mesures de protection du public...* » Les préoccupations de la société liées à l'occurrence de nombreuses victimes lors d'un seul sinistre sont appelées « *risque sociétal* », qui est donc un sous-ensemble des « *préoccupations sociétales*. » De tels risques concernent souvent des groupes spécialement sensibles, et correspondent à une distribution inéquitable des risques et bénéfiques (HSE 2001).

L'aversion pour un risque sociétal peut être illustrée par le fait que la société fait la distinction entre un accident unique entraînant de nombreuses victimes, et de nombreux accidents n'entraînant qu'une ou deux victimes, même si les pertes humaines totales sont les mêmes. En général, la société est plus sensible à un accident unique de grande ampleur qu'à plusieurs petits accidents, même si ces derniers provoquent un nombre de victimes plus élevé que le premier. Ce rejet peut être représenté à l'aide de courbes, de pente supérieure à 45° sur un graphe log-log F-N d'échelle égale sur les deux axes (voir Fig. 3.10b). Les critères de risques sociétaux et locaux ou au niveau de l'installation sont parfois définis à l'aide de graphes F-N<sup>5</sup>. Les critères de risque au niveau local ou de l'installation sont tirés des critères au niveau national, basés sur le nombre de sites ou d'installations dans le

---

<sup>5</sup> Le graphe F-N des risques et de l'évaluation associée des risques concerne la distribution estimée complète des conséquences (en général pertes humaines, mais cela pourrait être des estimations quantitatives d'autres types de conséquences, de type économique). Par opposition, les conséquences moyennes annuelles (estimées en effectuant le produit de la probabilité d'occurrence et des conséquences, combinée sur tous les scénarios), ne représente que l'ampleur annuelle moyenne des conséquences. Pour appliquer un critère d'évaluation des risques au niveau maximum de conséquences, la répartition complète des conséquences doit être prise en compte, et pas seulement les conséquences moyennes annuelles.

- common hazard – “dread” hazard
- affects average people – affects especially sensitive people
  
- will be used as intended – likely to be misused
- consequences reversible – consequences irreversible.

Such distinctions are very important to consider when making comparisons between risks originating from different natural or technological hazards. The list also serves as a reminder that readily-quantified measures of consequences, such as monetary losses or the number of fatalities, can only provide a limited picture of the full reality of dam failure consequences, because the reality includes many incommensurable and intangible aspects.

From studies on perceived risk, people’s concerns have been grouped into two broad categories:

1. Individual concerns – *“how individuals see the risk from a particular hazard affecting them and things they value personally .... they may be willing to live with a risk that they do not regard as negligible, if it secures them or society certain benefits”* provided that such risks are *“kept low and clearly controlled”* (HSE 2001).
  
2. Societal concerns – *“the risks or threats from hazards which impact on society and which, if realized, could have adverse repercussions for the institutions responsible for putting in place the provisions and arrangements for protecting people ...”* Societal concerns due to the occurrence of multiple fatalities in a single event is known as *“societal risk”*, which is *“therefore a subset of societal concerns.”* Such risks often give rise to multiple fatalities, expose especially sensitive groups, and result in an uneven distribution of risks and benefits (HSE 2001).

Societal risk aversion can be illustrated by considering society’s discrimination between single accidents involving large numbers of fatalities and many accidents involving only one or two fatalities, but with the same total loss of life. In general, society is more averse to a single large loss accident than to many small loss accidents, even if the total loss from the sum of all of the small loss accidents is larger than that from the large loss accident. This aversion can be represented using slopes, which are steeper than 1 to 1 on a log-log F-N chart with equal scales on both axes (see Fig. 3.10b). Societal and local or facility risk criteria are sometimes defined using F-N charts <sup>7</sup>. Local or facility risk criteria are derived from national level criteria based on the number of locations or facilities in a nation and the distributions of deaths for various accident types over all locations or facilities. This

---

<sup>7</sup> The F-N display of risk and associated risk evaluation criteria apply to the entire estimated distribution of consequences (typically life loss, but could be quantitative estimates of other types of consequences, such as economic losses). In contrast, mean annual consequences (estimated by the product of the probability of occurrence and the consequence, combined over all scenarios) represents only the average annual magnitude of consequences. To apply a risk evaluation criterion to the maximum level of consequences the entire distribution of consequences should be considered and not just the mean annual consequences.

pays, et la répartition de victimes pour différents types d'accidents sur tous les sites ou installations. Ce type de critère de risques a été développé dans certains pays pour la localisation de sites industriels dangereux, et pour le développement urbain à proximité.

### 3.3.3. Principes de base des critères

Les principes majeurs, à partir desquels les principes subordonnés et la tolérabilité associée des critères de risque sont tirés, sont :

- équité – le droit des individus et de la société à être protégés, et le droit de chacun à ce que ses intérêts soient considérés sans partialité ;
- efficacité – la nécessité pour la société de distribuer et d'utiliser les ressources disponibles de manière à en tirer un bénéfice maximum.

Ces principes sont théoriquement antinomiques et il c'est la nécessité de trouver un juste compromis entre eux, qui donne naissance aux principes subordonnés et aux critères de tolérabilité des risques.

Ces principes fondamentaux sont valables dans de nombreuses sociétés représentant des cultures très différentes et des systèmes politiques et législatifs très variés. Mais, au fur et à mesure du développement de ces principes du niveau supérieur vers les niveaux inférieurs, les choix deviennent très complexes et sont fortement conditionnés par les valeurs sociétales et les systèmes politiques et législatifs. Souvent, de très nombreuses considérations doivent être prises en compte.

Dans la présentation qui suit, nous donnons des exemples d'approches suivies dans l'établissement des critères pour la tolérabilité des risques.

Morgan et Henrion (1990) ont groupé les critères d'appréciation des risques en trois groupes de la manière suivante : critères légaux (équivalent à des critères d'équité), critères d'utilité, et critères technologiques. Le HSE (2001) a adopté ces catégories en les appelant des critères « purs » et en renommant les critères légaux critères d'équité. Dans la pratique, on peut utiliser des critères hybrides combinant des critères purs.

Les critères d'équité sont fondés sur le « *principe que tous les individus ont un droit inconditionnel à un certain niveau de protection. ... En pratique, cela signifie souvent fixer une limite représentant le niveau maximum de risque auquel un individu peut être exposé. Si le niveau de risque issu du processus d'estimation dépasse cette limite, et que des mesures de contrôle supplémentaires ne peuvent être mises en œuvre pour réduire le risque, il sera tenu pour inacceptable, quels qu'en soient les bénéfices.* » (HSE 2001). On peut citer des exemples, notamment : risque zéro par élimination, ou par interdiction ; risque limité ou assujéti ; accord volontaire et dédommagement ; et toute forme de processus approuvé, basée sur une procédure en bonne et due forme (Morgan et Henrion 1990).

Les critères d'utilité qui comprennent une « *comparaison entre les bénéfices d'une mesure pour prévenir les risques de blessure ou de dommages, et le coût* <sup>6</sup> de

---

<sup>6</sup> Où la notion de coûts est considérée largement, et peut inclure le temps et les efforts nécessaires, en plus des aspects financiers.

type of risk criterion has been developed in some countries for the siting of hazardous industrial-plants and for land development in their vicinities.

### 3.3.3. Principles from which criteria are derived

The top principles, from which sub-ordinate principles and the associated tolerability of risk criteria are derived, are:

- Equity – the right of individuals and society to be protected, and the right that the interests of all are treated with fairness;
- Efficiency – the need for society to distribute and use available resources so as to achieve the greatest benefit.

These principles are normally competing and it is the need to strike a proper balance between them that gives rise to the sub-ordinate principles and criteria for tolerability of risk.

These two top principles have broad validity across many societies spanning a wide range of cultures and political and legal systems. But, as the development of principles moves to lower levels, the choices become very complex and are strongly conditioned by societal values and the political and legal systems. Often a great many considerations must be taken into account.

In the discussion that follows, examples are given of some approaches that have been taken in establishing criteria for the tolerability of risk.

Morgan and Henrion (1990) have grouped risk evaluation criteria into three groups as follows: rights-based criteria (the same as equity-based criteria), utility-based criteria, and technology-based criteria. The HSE (2001) adopted these categories referring to them as “pure” criteria and re-naming rights-based criteria as equity-based criteria. In practice, hybrid criteria comprising a combination of pure criteria may be used.

Equity-based criteria are founded on the *“premise that all individuals have unconditional rights to certain levels of protection. ... In practice, this often converts to fixing a limit to represent the maximum level of risk above which no individual can be exposed. If the risk estimate from the risk assessment is above the limit and further risk control measures cannot be introduced to reduce the risk, the risk is held to be unacceptable whatever the benefits.”* (HSE 2001). Examples include the following: zero risk through elimination or by not allowing its introduction; bounded or constrained risk; voluntary consent and compensation; and some form of an approved process, based on due process (Morgan and Henrion 1990).

Utility-based criteria comprise a *“comparison between the incremental benefits of the measure to prevent the risk of injury or detriment, and the cost<sup>8</sup> of the*

---

<sup>8</sup> Where cost is considered in broad terms that may include time and effort in addition to monetary aspects.

*cette mesure.* » (HSE 2001). L'équilibre entre les bénéfiques et les coûts, exprimés par leur valeur monétaire, « *peut être délibérément biaisé en faveur des bénéfiques en s'assurant qu'il existe une disproportion entre coûts et bénéfiques.* » (HSE 2001). Morgan et Henrion (1990) listent les exemples suivants de critères d'utilité : rapports coûts/bénéfices déterministes et probabilistes, rentabilité (notamment coût par vie statistique sauvée), coûts limités, maximisation d'une fonction d'utilité à plusieurs paramètres (Keeney et Raiffa 1976), et minimisation de la probabilité du pire résultat, ou maximisation de la probabilité du meilleur résultat.

Les critères technologiques sont fondés sur « *l'idée qu'un niveau de prévention de risque satisfaisant est atteint lorsque les mesures de contrôles conformes à l'état de l'art (technologie, gestion, organisation) sont appliquées pour contrôler le risque quelles que soient les circonstances.* » (HSE 2001). Un exemple de critère technologique dans le domaine environnemental est la meilleure technologie disponible (ou actuelle), appliqué toutefois en combinaison avec un critère de « faisabilité – accessibilité économique », du type rentabilité (Morgan et Henrion 1990).

### **3.3.4. Critères hybrides de tolérabilité des risques**

Les critères appliqués d'appréciation de risques sont généralement des critères hybrides, plutôt que des applications des principes isolés présentés dans la sous-section 3.3.3. Des exemples dans le domaine des barrages sont présentés dans la section 4.3.2. Le HSE (2001) a développé un cadre général de tolérabilité des risques (TOR) (voir section 3.3.1 et Fig. 3.11), qui est destiné à « *tirer parti des avantages de chacun des 'critères purs' mentionnés plus haut tout en évitant leurs désavantages* » et à se rapprocher des processus de décision que les personnes utilisent dans « *la vie de tous les jours* ». Le cadre TOR du HSE utilise un critère d'équité pour les risques dans une région inacceptable, et un critère d'utilité pour les risques se trouvant dans les deux autres régions. Les critères technologiques peuvent être utilisés en complément des autres critères dans les trois régions.

Le cadre HSE TOR n'impose pas de frontières rigides entre les trois régions dans la Fig. 3.11. Les facteurs et processus qui déterminent dans quelle région se trouve un risque dépendent du contexte (voir l'exposé du contexte de décision dans la sous-section 2.4), ce qui peut entraîner une classification différente du même risque dans différents pays, et même différentes organisations au sein du même pays. Dans certains pays, les critères appliqués sont plus stricts pour de nouvelles installations que pour des installations existantes (voir ANCOLD, 2001, Ministère néerlandais du Logement, de la Planification physique et de l'Environnement, 1989).

L'extrait de Vrijling (2001) qui suit est un exemple d'approche utilisée pour transformer les résultats de la recherche sociologique sur l'acceptation des risques par la communauté, en critères de risques pour l'individu dans les pays développés :

*Le composant le plus petit de l'acceptation sociale<sup>7</sup> d'un risque est constitué par l'estimation par l'individu. Il est impossible de modéliser celle-ci, c'est pourquoi nous*

---

<sup>7</sup> Notons que le terme risque acceptable est utilisé dans cette citation, mais que le terme risque tolérable serait plus cohérent avec les définitions de ce bulletin.

*measure.*” (HSE 2001). The balance between benefits and cost, both expressed in monetary terms, “*can be deliberately skewed towards benefits by ensuring that there is gross disproportion between costs and benefits.*” (HSE 2001). Morgan and Henrion (1990) list the following examples of utility-based criteria: deterministic and probabilistic benefit-cost, cost effectiveness (including cost per statistical life saved), bounded cost, maximising a multi-attribute utility function (Keeney and Raiffa 1976), and minimising the chance of the worst possible outcome or maximizing the chance of the best possible outcome.

Technology-based criteria are founded on “*the idea that a satisfactory level of risk prevention is attained when 'state of the art' control measures (technological, managerial, organizational) are employed to control risks whatever the circumstances.*” (HSE 2001). An example of a technology-based criterion in the environmental field is best available (or current) technology, although it is typically applied in combination with a “feasibility-affordability” criterion, such as cost-effectiveness (Morgan and Henrion 1990).

### **3.3.4. Hybrid criteria for tolerability of risk**

Applied risk evaluation criteria are typically hybrid criteria rather than applications of single principles discussed in Sub-section 3.3.3. Examples in dam safety are included in Section 4.3.2. The HSE (2001) has developed a generalised framework for tolerability of risk (TOR) (see Section 3.3.1. and Fig. 3.11), which is intended “*to capitalise on the advantages of each of the above 'pure criteria' whilst avoiding their disadvantages*” and to resemble the decision process that people use in “*everyday life*”. The HSE TOR framework utilizes an equity-based criterion for risks in the unacceptable region and a utility-based criterion for risks falling in the other two regions. Technology-based criteria may be used to complement the other criteria in all three regions.

The HSE TOR framework does not have rigid boundaries between the three regions in Fig. 3.11. The factors and processes that control which region a risk falls into are context specific (see discussion of decision context in Sub-section 2.4); with the result that different countries, and even different organisations within the same country, may classify the same risk differently. In some cases more stringent expectations are placed on new facilities than on existing ones (e.g. ANCOLD, 2001, Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1989).

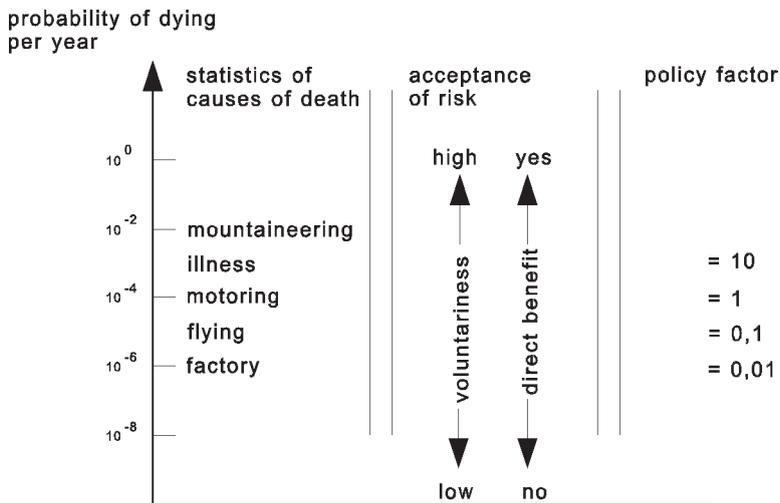
The following excerpt from Vrijling (2001) is an example of an approach put forward to translate the findings of sociological research on risk acceptance by the community into criteria on risk to the individual in developed countries:

*The smallest component of the social acceptance<sup>9</sup> of risk is the assessment by the individual. Attempts to model this are not feasible, therefore it is proposed to look to*

---

<sup>9</sup> Note that the term acceptable risk is used in this quotation, but the term tolerable risk would be more consistent with the definitions in this bulletin.

proposons d'examiner les préférences révélées dans les statistiques d'accidents. Le fait que les niveaux réels de risques personnels liés à diverses activités montrent une stabilité statistique au cours des années, et sont sensiblement égaux pour les pays occidentaux, indique que les préférences ont des caractéristiques stables cohérentes. La probabilité de perdre la vie lors de la vie quotidienne, par exemple en conduisant sa voiture ou en travaillant dans une usine apparaît inférieure d'un ou deux ordres de grandeur à la probabilité générale de décès. Seules les activités exercées librement, comme l'alpinisme, présentent un risque supérieur (Fig. 7 – Fig. 3.12 dans ce Bulletin).



Malgré une tendance faible de décroissance des risques de décès due au progrès technique, il semble acceptable d'utiliser ces chiffres comme base de décision pour ce qui concerne la probabilité de risques personnels acceptés [correspond à un risque « largement acceptable » dans le cadre HSE (2001)] de la manière suivante :

$$P_{fi} = \frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_{d\overline{fi}}}$$

où  $P_{d\overline{fi}}$  représente la probabilité d'être tué dans un accident. Dans cette expression, le facteur d'orientation  $\beta_i$  varie avec le degré de volontariat avec lequel une activité  $i$  est effectuée, et avec les bénéfices perçus. Il varie de 100 dans le cas d'une liberté complète de choix, comme pour l'alpinisme, à 0,01 dans le cas d'un risque imposé sans aucun bénéfice direct ressenti (un domaine de variation aussi large avait déjà été noté par Starr en 1969 [10]). Ce dernier cas s'applique au critère de risque individuel utilisé pour la construction d'une installation dangereuse près d'une zone habitée sans aucun bénéfice direct pour les habitants. Une proposition pour le choix de la valeur du facteur  $\beta_i$  en fonction du volontariat et des bénéfices est donnée dans le tableau ci-dessous :

the preferences revealed in the accident statistics. The fact, that the actual personal risk levels connected to various activities show statistical stability over the years and are approximately equal for the Western countries, indicates a consistent pattern of preferences. The probability of losing one's life in normal daily activities, such as driving a car or working in a factory, appears to be one or two orders of magnitude lower than the overall probability of dying. Only a purely voluntary activity such as mountaineering entails a higher risk (Fig. 7 – Fig. 3.12 in this bulletin).

Fig. 3.12

Personal risks in Western countries, deduced from the statistics of causes of death and the number of participants per activity (Fig. 7 from Vrijling, 2001)  
*Risques personnels dans les pays occidentaux, déduits des statistiques des causes de décès et du nombre de participants par activité (Fig. 7, Vrijling, 2001)*

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Probability of dying per year | <i>Probabilité de décès par an</i>      |
| Statistics of causes of death | <i>Statistiques des causes de décès</i> |
| Acceptance of risk            | <i>Acceptation du risque</i>            |
| Policy factor                 | <i>Rapport</i>                          |
| Mountaineering                | <i>Alpinisme</i>                        |
| illness                       | <i>Maladie</i>                          |
| Motoring                      | <i>Conduite automobile</i>              |
| Flying                        | <i>Déplacement aérien</i>               |
| Factory                       | <i>Travail en usine</i>                 |

Apart from a slightly downward trend due to technical progress, of the death risks presented, it seems permissible to use them as a basis for decisions with regard to the personally acceptable probability [corresponds to “broadly acceptable” risk in the HSE (2001) framework] of failure in the following way:

$$P_{fi} = \frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_{dfi}}$$

where  $P_{dfi}$  denotes the probability of being killed in the event of an accident. In this expression, the policy factor  $\beta_i$  varies with the degree of voluntariness with which an activity  $i$  is undertaken and with the benefit perceived. It ranges from 100 in the case of complete freedom of choice like mountaineering, to 0.01 in case of an imposed risk without any perceived direct benefit (such a large range was already noted in 1969 by Starr [10]). This last case includes the individual risk criterion used for the siting of a hazardous installation near a housing area without any direct benefit to the inhabitants. A proposal for the choice of the value of the policy factor  $\beta_i$  as a function of voluntariness and benefit is given in the table below:

Tableau 3.2

Valeur du facteur d'orientation  $\beta_i$  en fonction du volontariat et du bénéfice.  
(Table 2 de Vrijling, 2001)

Pour la sécurité des digues (Pays-Bas), une valeur de  $\beta_i$  1,0 à 0,1 est appliquée.

| $\beta_i$ | <i>volontariat</i>  | <i>bénéfice direct</i>     | <i>exemple</i>             |
|-----------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 100       | <i>volontaire</i>   | <i>bénéfice direct</i>     | <i>alpinisme</i>           |
| 10        | <i>volontaire</i>   | <i>bénéfice direct</i>     | <i>moto</i>                |
| 1.0       | <i>neutre</i>       | <i>bénéfice direct</i>     | <i>conduite automobile</i> |
| 0.1       | <i>involontaire</i> | <i>un certain bénéfice</i> | <i>usine</i>               |
| 0.01      | <i>involontaire</i> | <i>aucun bénéfice</i>      | <i>Station GPL</i>         |

On peut noter que la valeur de base de «  $10^4$  » dans la formule de cet extrait représente pratiquement la valeur moyenne la plus faible de risque annuel pour un groupe caractérisé par son âge et son sexe (sexe féminin, 12 ans) dans certains pays développés. On peut argumenter que le rapport pour les barrages, qui vont ou ont engendré un nouveau risque, devrait être en général inférieur à celui des digues aux Pays-Bas, qui sont destinées à atténuer un risque existant, là où des personnes décident de vivre et tirent parti de l'existence des digues. Certains barrages présentent un cas similaire à une station GPL (involontaire, peu ou pas de bénéfices du barrage – les personnes qui subissent le risque ne l'ont pas choisi), exemple donné dans le tableau 3.1. Ces niveaux de risque tolérable sont en général cohérents avec ceux utilisés dans les pays développés. Ils peuvent ne pas être appropriés dans tous les pays.

### 3.3.5. Appréciation ALARP

Comme la sécurité absolue ne peut jamais être garantie, il est courant en gestion des risques de qualifier les objectifs de la sécurité par des termes comme « *aussi bas qu'il est raisonnablement possible* », connu sous le nom de principe ALARP. L'ALARP est la quatrième condition de la définition des risques tolérables dans la sous-section 3.3.1. Bien que l'ALARP soit reconnue internationalement par des organisations comme l'IAEA (1992), sa mise en œuvre varie suivant les pays. Le HSE (2001) se réfère à la mise en œuvre du principe ALARP comme demandant un test de vérification d'une « *grande disproportion* » appliqué aux risques individuels et aux préoccupations sociétales, notamment les risques sociétaux. Cette grosse disproportion doit exister entre le coût<sup>8</sup> d'une mesure additionnelle de réduction des risques et la quantité de la réduction de risque envisagée. Rowe (1977) a proposé que des mesures coûts/bénéfices de type coût par vie statistique sauvée (CSLS)<sup>9</sup> soient utilisées pour permettre la mise en œuvre de cette vérification. Le HSE utilise la valeur de prévention d'un décès (VPF, *Value of preventing a fatality*), déterminée par des études de « *volonté de payer* » pour l'amélioration marginale de la sécurité

<sup>8</sup> Ces coûts sont considérés au sens large, c'est-à-dire incluant le temps et les efforts investis, en plus des aspects financiers.

<sup>9</sup> Il est important que le lecteur comprenne que le CSLS et la VPF ne sont pas des valeurs attribuées à une vie humaine, ni le montant de la compensation qui serait payée par une assurance pour un décès accidentel, ni un dédommagement judiciaire. Le CSLS est le coût nécessaire pour réduire le niveau de risques sur les personnes. Par exemple, un CSLS de \$10M signifie une réduction de risque de 1 pour 10 000 par an pour 10 personnes subissant ce risque, pour un coût annuel de 10000\$. [CSLS = \$10,000/(10/10,000)].

Table 3.2

The value of the policy factor  $\beta_i$  as a function of voluntariness and benefit  
(Table 2 from Vrijling, 2001)

For the safety of dikes (in the Netherlands) a  $\beta_i$  value of 1.0 to 0.1 is thought to be applicable.

| $\beta_i$ | <i>voluntariness</i> | <i>direct benefit</i> | <i>example</i>        |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 100       | <i>voluntary</i>     | <i>direct benefit</i> | <i>mountaineering</i> |
| 10        | <i>voluntary</i>     | <i>direct benefit</i> | <i>motor biking</i>   |
| 1.0       | <i>neutral</i>       | <i>direct benefit</i> | <i>car driving</i>    |
| 0.1       | <i>involuntary</i>   | <i>some benefit</i>   | <i>factory</i>        |
| 0.01      | <i>involuntary</i>   | <i>no benefit</i>     | <i>LPG-station</i>    |

It can be noted that the base value of “10<sup>-4</sup>” in the formula in this excerpt is about the lowest value of average annual background risk of death for a gender/age group (females aged around twelve years) in some of the developed countries. It might be argued that the policy factor for dams, which will create, or have created, a new risk, should generally be lower than that for the dikes in the Netherlands, which may be seen as mitigating an existing risk, where the people choose to live there and where they derive benefit from the existence of the dikes. Some dams would fall into a similar situation as the example of an LPG station (involuntary, no or little benefit from the dam – those at risk have the risk imposed on them), given in Table 3.1. These levels of tolerable risk are generally consistent with those used in developed countries. They may not be appropriate for use in all countries.

### 3.3.5. ALARP evaluation

Since absolute safety cannot be guaranteed, it is common in risk management to qualify safety goals with terms like “*as low as reasonably practicable*”, known as the ALARP principle. ALARP is the fourth condition in the definition of tolerable risk in Sub-section 3.3.1. Although ALARP has international recognition by organizations such as the IAEA (1992), its implementation will vary from country to country. HSE (2001) refers to the implementation of the ALARP principle as requiring a “gross disproportion” test applied to individual risks and societal concerns, including societal risks. The gross disproportion is between the cost<sup>10</sup> of an additional risk reduction measure and the estimated amount of that risk reduction. Rowe (1977) proposed that cost/benefit measures, such as cost per statistical life saved (CSLS)<sup>11</sup>, be used to assist in implementing this test. The HSE uses the value of preventing a fatality (VPF), determined from Willingness-to-Pay studies of the marginal improvement in safety as an input to cost/benefit studies. To inform an ALARP evaluation, the VPF can be compared with the CSLS. The CSLS would need to be significantly higher than the VPF to demonstrate a level of disproportion.

<sup>10</sup> Where cost is considered in broad terms that may include time and effort in addition to monetary aspects.

<sup>11</sup> It is important that the reader understands that CSLS and VPF are not a value placed on a human life and neither are they the amount of compensation for an accidental loss of life that might be paid by insurance or as the result of legal proceedings. CSLS is the cost of achieving an increment of life safety risk reduction. For example, a CSLS of \$10M would result from reducing a risk by 1 in 10,000 per year for 10 persons at risk at an annualised cost of \$10,000 per year [CSLS = \$10,000/(10/10,000)].

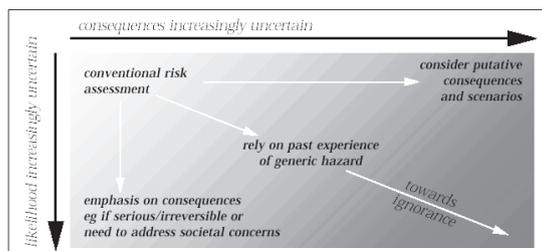
comme donnée pour les études de coût/bénéfice. Dans le cadre d'une appréciation ALARP, la VPF peut être comparée avec le CSLS. Le CSLS doit être largement supérieur à la VPF pour prouver un niveau de disproportion. En faisant de telles évaluations, le HSE (2001) expose les avantages de considérer des individus hypothétiques en diverses situations géographiques, plutôt que des individus réels pouvant exister au moment où l'évaluation des risques est effectuée. Ces types de calcul doivent être destinés à informer et non à prescrire les décisions, car beaucoup d'autres facteurs non mesurables ou immatériels doivent être normalement compris dans l'appréciation ALARP globale.

Lors de l'évaluation du principe ALARP, il est fondamental d'identifier les mesures potentielles de réduction des risques qui peuvent être examinées pour savoir si oui ou non elles sont conformes au test de grande disproportion. Une veille technologique peut être utilisée pour identifier de nouvelles méthodes rentables permettant de rendre les barrages encore plus sûrs, et donc de nouvelles possibilités d'ALARP avec pour objectif de maintenir des risques tolérables<sup>10</sup>.

Le HSE (2001) mentionne également qu'une comparaison avec « *une bonne pratique existante* » peut être utilisée comme test ALARP si une telle pratique est connue comme étant ALARP. Toutefois, à l'heure actuelle, les différents aspects des bonnes pratiques de sécurité sur les barrages ne sont pas clairement classifiables selon leur respect ou non du principe ALARP. La mise en œuvre du principe ALARP peut conduire à différentes conclusions sur l'ampleur des mesures correctives ou autres traitements du risque dans différents pays, ou même au sein d'un même pays, suivant le contexte de décision.

### 3.3.6. Incertitude et principe de précaution

L'incertitude existe dans l'estimation de la probabilité et l'ampleur des conséquences du risque calculées lors de l'analyse de risque. La Fig. 3.13 présente une approche recommandée par le HSE (2001) pour utilisation lorsque l'incertitude de ces valeurs augmente. Lorsque les résultats de l'évaluation des risques, et de manière plus importante encore les recommandations de décisions qui en découlent, sont robustes, l'évaluation conventionnelle des risques peut être utilisée seule (coin supérieur gauche). S'il existe un haut degré d'incertitude dans les conséquences, le HSE recommande d'assigner des conséquences supposées et des scénarios de conséquences. Lorsqu'il existe un haut degré d'incertitude pour les probabilités, le HSE recommande de se concentrer uniquement sur les conséquences.



<sup>10</sup> Voir la condition (4) dans la définition des risques tolérables dans la sous-section 3.3.1.

In making such evaluations HSE (2001) discusses the advantages of considering hypothetical individuals at various locations rather than just the actual individuals that might exist at the time that the risk assessment is performed. These types of calculations must be understood to inform and not to prescribe the decision since many other incommensurable and intangible factors would normally be included in the overall ALARP evaluation.

Fundamental to the evaluation of the ALARP principle is the identification of potential risk reduction measures that can be examined to assess whether or not the gross disproportion test has been met. A technology watch can be used to recognize new cost-effective approaches to make dams even safer, thus identifying new ALARP opportunities with the goal of maintaining tolerable risks<sup>12</sup>.

HSE (2001) also states that a comparison against “existing good practice” could be used as an ALARP test if such practice is known to be ALARP. However, at this time, it is not clearly established what aspects of existing good dam safety practice would be ALARP, and which might fall short or go beyond satisfying ALARP. Implementation of the ALARP principle can be expected to result in different conclusions about how far remedial works or other risk treatment should go in different countries, and even within a country, depending on the decision context.

### 3.3.6. Uncertainty and the precautionary principle

Uncertainty exists in estimates of both the likelihood and consequences dimensions of risk that are made in a risk analysis. Fig. 3.13 summarises an approach that the HSE (2001) recommends should be used as uncertainty in each of these dimensions increases. When the results of risk assessment, and more importantly the ensuing decision recommendations, are robust, conventional risk assessment alone can be used (upper left hand corner). If there is a high degree of uncertainty in the consequences, HSE recommends assigning putative consequences and consequences scenarios. When there is a high degree of uncertainty about likelihood, HSE recommends focusing solely on the consequences.

Fig. 3.13

Procedure for Tackling Uncertainty when Assessing Risks (Fig. 2 from HSE 2001)  
*Procédure de traitement de l'incertitude lors de l'évaluation des risques (Fig. 2 de HSE 2001)*

|  |  |
|--|--|
| Consequences increasingly uncertain  | <i>Conséquences de plus en plus incertaines</i>  |
| Likelihood increasingly uncertain  | <i>Probabilité de plus en plus incertaine</i>  |
| Conventional risk assessment   | <i>Évaluation des risques conventionnelle</i>  |
| Consider putative consequences and scenarios   | <i>Considération des conséquences et scénarios supposés</i>  |
| Rely on past experience of generic hazard  | <i>Référence à l'expérience passée de dangers génériques</i>   |
| Towards ignorance  | <i>En direction de l'ignorance</i>   |
| Emphasis on consequences eg if serious / irreversible or need to address societal concerns | <i>Mise en relief des conséquences, notamment si elles sont graves ou irréversibles, ou nécessité de gérer des préoccupations sociétales</i> |

<sup>12</sup> See condition (4) in the definition of tolerable risk in Sub-section 3.3.1.

L'approche du HSE face à l'incertitude est une application du principe de précaution, qui a été introduit dans les domaines de l'environnement et de la santé. Gullet (2000) pense que l'évaluation des risques est utilisée pour justifier « la prévention » de « menaces identifiables », alors que « la précaution est destinée à éviter certaines conséquences qui peuvent être, ou ne pas être, fâcheuses (bien qu'il doive exister une raison de croire qu'elles peuvent l'être) ». Ainsi, le principe de précaution « justifie d'agir avant la preuve lorsque les conséquences sont incertaines ; c'est-à-dire avant qu'une menace ne devienne un risque connu ». Il n'existe pas de consensus sur la manière dont le principe de précaution doit être mis en œuvre, celui-ci devant encore être adapté formellement au domaine de la sécurité des barrages.

### **3.4. CONTROLE ET GESTION DES RISQUES : APPLICATION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LES RECOMMANDATIONS DE DÉCISION**

#### **3.4.1. Introduction**

La structure des processus de décision pour la sécurité des barrages varie d'une organisation à l'autre, et d'un pays à l'autre à cause des différences du contexte de décision exposé dans la sous-section 2.4. Cette section ne propose donc pas une approche spécifique pour la prise de décision pour les barrages, mais se concentre sur l'utilisation de l'information de risque dans cette prise de décision.

Comme la majeure partie des informations de ce bulletin, l'habitude d'utiliser les résultats de l'évaluation des risques pour la prise de décision dans la sécurité des barrages n'est pas encore très développée. Pourtant, il y a quelques exemples de son utilisation dans plusieurs pays, pour un certain nombre de décisions dans ce domaine (voir section 4.0). Ces décisions ne consistent cependant pas à appliquer un critère de risques tolérables aux résultats d'une évaluation quantitative des risques. Dans de nombreux cas, une telle appréciation des risques tolérables est comprise, mais n'est qu'une des nombreuses bases de la décision.

L'analyse des risques (sous-section 3.2) fournit un cadre de formulation de la connaissance et des jugements des professionnels des barrages, sous la forme d'estimations de risques, alors que l'appréciation des risques (sous-section 3.3) fournit une perspective de l'importance des risques estimés, basée sur des critères ou indications reconnues. La perspective fournie par l'appréciation des risques est limitée par les aspects des risques traités dans l'analyse des risques, et par le type de critère d'appréciation appliqué. Quoique l'évaluation des risques, qui combine l'analyse des risques et l'appréciation des risques, puisse fournir une vue d'ensemble intéressante pour certains aspects des risques existants, et la réduction potentielle de ces risques, elle ne peut prendre en compte les points de vue et perceptions de toutes les parties prenantes, qui peuvent différer radicalement de celles présentées dans l'évaluation des risques. La prise en compte de ces points de vue et perceptions peut entraîner des décisions sensiblement différentes de celles identifiées lors de l'évaluation des risques. On peut diminuer les risques d'apparition de telles disparités en suivant le processus analytique délibératif (NRC 1996) représenté en Fig. 3.14, pour lequel les parties prenantes (intéressées ou affectées) entrent dans la concertation au cours de tout le processus de décision auquel concourt l'évaluation des risques.

The HSE's approach to uncertainty is an application of the precautionary principle, which has been introduced into the environmental and health fields. Gullet (2000) argues that risk assessment is used to justify "prevention" of "identifiable threats," whereas "precaution is aimed at avoiding uncertain outcomes which may, or may not, be harmful (although there must be some reason to believe that harm will occur)." Thus, the precautionary principle "justifies acting in advance of knowledge where outcomes are uncertain; that is, before a perceived threat becomes a known risk." There is no common agreement on how the uncertainty principle should be implemented. It has yet to be formally translated into the dam safety field.

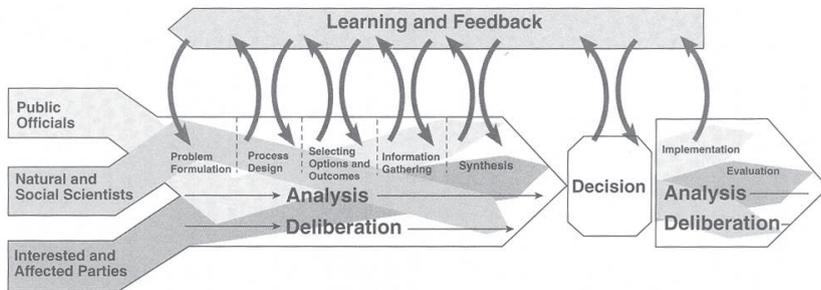
### **3.4. RISK CONTROL AND MANAGEMENT: APPLICATION OF RISK ASSESSMENT TO DECISION RECOMMENDATIONS**

#### **3.4.1. Introduction**

The structure of dam safety decision processes varies from one organization to another and from one country to another because of differences in the decision context discussed under Sub-section 2.4. Therefore, this Section does not propose a specific approach to dam safety decision-making, but rather it focuses on using risk information to support decision recommendations.

As with much of the content of this bulletin, the practice of using risk assessment outcomes in dam safety decision-making is not yet well developed. However, there are examples of its use in several countries for a range of dam safety decisions (see Section 4.0). These decisions are not, however, the simple outcome of applying a tolerable risk criterion to the results of a quantitative risk assessment. In many cases they have included such a tolerable risk evaluation, but that has been only one of several decision bases, which have contributed value to the overall decision-making process.

Risk analysis (Sub-section 3.2) provides a framework for capturing the knowledge and judgements of dams engineering professionals in the form of risk estimates, while risk evaluation (Sub-section 3.3) provides a perspective on the significance of the estimated risks based on agreed criteria or guidelines. The perspective provided by risk evaluation is limited by the aspects of risk that are addressed in the risk analysis and by the type of evaluation criteria that are applied. Although risk assessment, which combines risk analysis and risk evaluation, can provide valuable insights into some aspects of existing risks and potential risk reduction, it cannot take into account the views and perceptions of all stakeholders, which might differ significantly from those represented in risk assessment. The inclusion of these views and perceptions might suggest significantly different decision options from those identified in the risk assessment. The chances of such a disparity occurring can be reduced by following the analytical-deliberative process (NRC 1996) represented in Fig. 3.14, in which stakeholders (interested and affected parties) are included throughout the overall decision process that risk assessment is intended to support.



En conséquence, l'évaluation des risques ne doit pas être l'unique base de décision utilisée lors des prises de décision. D'autres bases sont constituées par les normes techniques et les bonnes pratiques en vigueur, les valeurs du propriétaire et d'autres valeurs sociétales, les attentes et perceptions des parties prenantes. L'inclusion de l'évaluation des risques dans ce processus est parfois nommée « approche améliorée risques » ou « approche informée risques », pour laquelle l'évaluation des risques fournit des données pour le processus de décision, mais ne fournit pas la décision elle-même. Les critères ou indications d'appréciation des risques peuvent servir de référence utile pour traiter les problèmes de sécurité des barrages. Toutefois, les décisions ne doivent être prises que par les personnes responsables de la sécurité, une fois tous les facteurs pertinents estimés et pesés ; elles ne doivent pas être le résultat automatique de l'application d'un critère d'appréciation des risques aux résultats d'une analyse de risque.

La sous-section 3.4.2 expose un processus général de prise de décision en examinant des options utilisant une combinaison de bases de décision. Elle présente un cadre d'intégration de nombreuses approches différentes pour l'appréciation des risques et la prise de décision pour aider le décideur à sélectionner les meilleures bases de décision et pour déterminer leur importance relative, notamment celle de l'évaluation des risques. La sous-section 3.4.3 fait la liste d'options générales pour le contrôle et la gestion des risques sur les barrages. La sous-section 3.4.4 décrit le rôle de l'équipe d'évaluation des risques et des autres participants au processus de décision. Les sous-sections 3.4.5 – 3.4.7 proposent certaines stratégies d'intégration de l'information de risque dans la prise de décision pour les catégories générales suivantes :

1. Fixer des objectifs de risque tolérable – Quel niveau de sécurité peut-on considérer comme suffisant ?
2. Identifier les étapes d'un programme de réduction des risques<sup>11</sup> – Comment atteindre les objectifs de sécurité pour un barrage ou un ensemble de barrages ?

<sup>11</sup> Le terme « étapes d'un programme de réduction des risques » est utilisé pour décrire une séquence de mesures mises en œuvre pour réduire le risque pour un barrage ou un ensemble de barrages.

Fig. 3.14

Generic Process, which can be Applied to Arrive at Principles and Criteria for Tolerability of Risk  
(NRC, 1996)

*Processus générique pouvant être appliqué pour obtenir des principes et des critères de tolérabilité  
des risques (NRC, 1996)*

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Learning and Feedback          | <i>Apprentissage et retour d'expérience</i>         |
| Publics officials              | <i>Représentants gouvernementaux</i>                |
| Natural and social scientists  | <i>Spécialistes sciences naturelles et sociales</i> |
| Interested et affected parties | <i>Parties intéressées ou concernées</i>            |
| Problem formulation            | <i>Formulation du problème</i>                      |
| Process design                 | <i>Construction du processus</i>                    |
| Selecting Options and outcomes | <i>Sélection des options et résultats</i>           |
| Information gathering          | <i>Collecte d'informations</i>                      |
| Synthesis                      | <i>Synthèse</i>                                     |
| Analysis                       | <i>Analyse</i>                                      |
| Deliberation                   | <i>Délibération</i>                                 |
| Decision                       | <i>Décision</i>                                     |
| Implementation                 | <i>Mise en œuvre</i>                                |
| Evaluation                     | <i>Évaluation</i>                                   |

Therefore, risk assessment should not be the only decision basis that is used in dam safety decision-making. Other bases should include engineering standards and current good practice, owner or wider societal values, and stakeholder expectations and perceptions. The inclusion of risk assessment in this process is sometimes referred to as a risk-enhanced or risk-informed approach, in which risk assessment provides inputs to the decision process, but not the decision itself. Risk evaluation criteria or guidelines can serve a useful reference role in making a case for addressing dam safety issues. However, dam safety decisions should be made by those responsible for ensuring dam safety after all the relevant factors have been assessed and weighed; they should not be the automatic result of applying a risk evaluation criterion to the outcomes of a risk analysis.

Sub-section 3.4.2 summarises a general decision-making process for examining decision options using a combination of decision bases. It includes a framework for integrating many different approaches to risk evaluation and decision-making to help the decision-maker select appropriate decision bases and to determine the relative importance of various decision bases, including risk assessment, in decision-making. Sub-section 3.4.3 lists several types of decision options for dam safety risk control and management. Sub-section 3.4.4 summarises the roles of the risk assessment team and others in the decision process. Sub-sections 3.4.5 – 3.4.7, respectively, suggest some ways to incorporate risk information into decision-making for the following general categories of dam safety decisions:

1. Setting tolerable risk goals - How safe is safe enough?
2. Identifying a risk reduction pathway<sup>13</sup> - How to reach safety goals for a single dam or a portfolio of dams?

---

<sup>13</sup> The term “risk reduction pathway” is used to describe a sequence of measures implemented to reduce the risk for a particular dam or a portfolio of dams.

3. La gestion des risques résiduels – Comment maintenir un risque tolérable lors des étapes de réduction des risques et au-delà ?

### 3.4.2. Processus pour le développement de recommandations de décisions

Un processus général de prise de décision devrait comprendre les étapes principales qui suivent, menant à une recommandation, puis à une décision et à une mise en œuvre :

1. **Définir les aspects de la décision** notamment les aspects techniques, le contexte, les intéressés, et les contraintes légales, réglementaires, internes à l'entreprise et autres (y compris les critères de l'appréciation des risques) ;
2. **Identifier les options de décision** notamment ne rien faire, ou mettre hors service, si nécessaire ;
3. **Déterminer les bases de décision et leur importance relative**<sup>12</sup>, depuis les paramètres purement techniques jusqu'aux évaluations quantitatives de risque en passant par les critères subjectifs, en tenant en compte le contexte de décision ;
4. **Examiner les options de décisions**, en rejetant celles qui ne se conforment pas à l'une des contraintes (identifiées en 1.) et évaluer les autres, selon le niveau d'atteinte des objectifs (identifiés également en 1.) et l'importance relative de ces objectifs (indiquée en 3.) en prenant en compte correctement les incertitudes ;
5. **Étalonner les bases de décision** en s'assurant qu'elles sont correctement validées par l'information nécessaire, de manière à les rendre crédibles pour la prise de décision. Réviser chaque étape précédente jusqu'à étalonnage complet.
6. **Rédiger et documenter les recommandations de décision** avec la participation des parties intéressées ;
7. **Rédiger et documenter les décisions** avec la participation des parties intéressées ;
8. **Mettre en œuvre, communiquer et passer en revue l'efficacité des décisions.**

Ce processus est conforme à l'approche analytique délibérative représentée en Fig. 3.14.

L'Association britannique des Exploitants en Mer – *UK Offshore Operators Association* (UKOOA, 1999) a développé un guide pour les exploitants. Ce guide est utile à l'étape n° 3 pour la sélection des bases de décision appropriées et la détermination de leur importance relative. Ces indications présentent de nombreuses approches différentes pour l'appréciation des risques et la prise de décision, et peuvent être généralement appliquées dans le domaine des barrages. Leur objectif est de « *guider et aider les décideurs, et rendre le processus de décision plus ouvert, transparent, rigoureux, et approprié au contexte* ».

---

<sup>12</sup> Pour cette étape, voir l'exemple de la stratégie UKOOA (1999), présenté ci-dessous dans la sous-section 3.4.2.

3. Managing residual risk – How to maintain tolerable risk throughout the risk reduction pathway and beyond?

### 3.4.2. Process for developing decision recommendations

A general decision-making process would comprise the following major steps leading up to a decision recommendation and then onto a decision and implementation:

1. **Define the decision issue(s)** including the technical aspects, decision context, stakeholders, and any legal, regulatory, corporate, or other constraints (including risk evaluation criteria) or goals;
2. **Identify the decision options** including doing nothing, or decommissioning, if appropriate;
3. **Determine the decision bases and their relative importance**<sup>14</sup>, ranging from purely technical to quantitative risk assessment to value based judgements through consideration of the decision context;
4. **Examine the decision options**, rejecting any that do not meet any constraints (identified in 1.) and assessing the others based on the degree to which they meet the goals (identified in 1.) and the relative importance of these goals (indicated in 3.) and with appropriate consideration given to uncertainties;
5. **Calibrate the decision bases** to build confidence in the bases for decision-making by ensuring that they are properly assessed with adequate information. Revise any earlier steps as necessary to complete calibration;
6. **Make and document the decision recommendation** with the involvement of the appropriate stakeholders;
7. **Make and document decision** with the involvement of the appropriate stakeholders;
8. **Implement, communicate and review the effectiveness of the decision.**

This process fits within the general analytic-deliberative approach represented in Fig. 3.14.

The UK Offshore Operators Association (UKOOA, 1999) has developed some guidelines for offshore operators. They are useful in Step 3 for selecting appropriate decision bases and determining their relative importance. These guidelines integrate many different approaches to risk evaluation and decision-making and are of general applicability for dam safety decision-making. Their stated goal is to “*guide and support decision-makers and make the decision-making process more open, transparent, soundly based, and appropriate for the context.*”

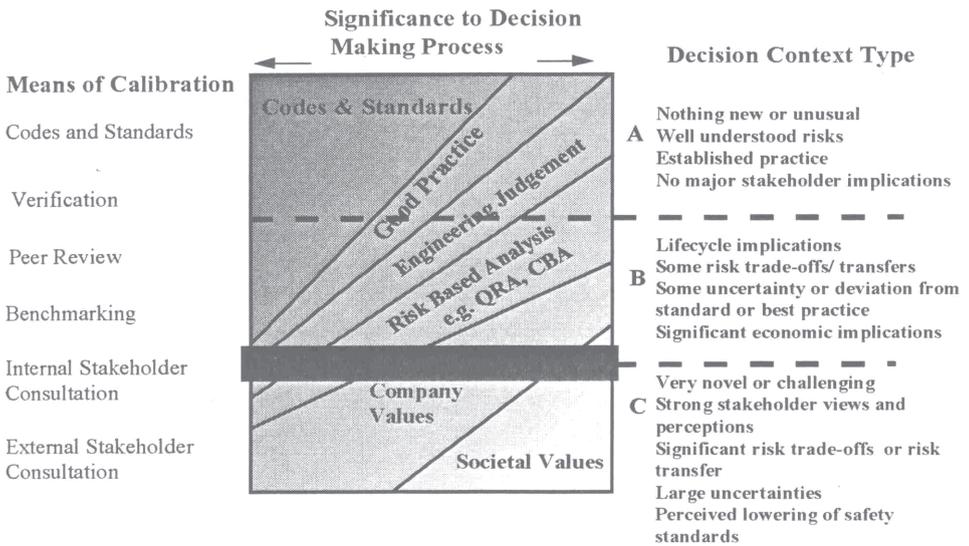
---

<sup>14</sup> For this step see the example of the UKOOA (1999) framework, which is summarised below in Sub-section 3.4.2.

Le cadre d'aide à la décision de l'UKOOA (1999) est représenté en Fig. 3.15. Il comprend une gamme de bases de décision, en partant de celles qui sont dominées par des préoccupations purement techniques (type A) pour arriver à celles pour lesquelles les valeurs du propriétaire et les valeurs sociétales sont les plus pertinentes (type C). Sur la partie droite sont présentées les caractéristiques typiques utilisées pour déterminer à quel niveau une ligne horizontale épaisse sera tracée parallèlement aux lignes pointillées sur la Fig. 3.15. La position de la ligne représente le contexte spécifique de décision et peut être n'importe où sur la partie droite.

La combinaison suggérée des bases de décisions pour estimer la performance des options de décision, pour une décision spécifique, est indiquée par l'intersection de la ligne horizontale et des différentes étiquettes contenues dans le rectangle central du cadre de la Fig. 3.15. La largeur de chaque intersection de la ligne horizontale avec une base de décision est indicative de la pertinence et du poids qui devrait être attachés à cette base de décision. Les bases de décision vont des codes techniques et des normes existantes jusqu'aux estimations basées sur les valeurs de l'entreprise ou de la société au sens large, et aux attentes et perceptions des parties prenantes. L'évaluation quantitative des risques (QRA en anglais) et l'analyse coût/bénéfice sont représentées au milieu de cette gamme, avec un rôle dont l'importance varie suivant les contextes de décision.

Sont présentés sur le côté gauche du rectangle différentes manières d'étalonner ou de tester les bases de décision. Il peut s'agir de simplement vérifier que les codes



The UKOOA (1999) decision support framework is represented in Fig. 3.15. It comprises a spectrum of decision bases, ranging from those for decisions that are dominated by purely engineering concerns (Type A), to those where owner and societal values are the most relevant factors (Type C). On the right side are typical characteristics that are used to determine the level at which a thick horizontal line is drawn paralleling the dashed lines on Fig. 3.15. The position of the line represents the specific decision context and can be anywhere on the right side.

The suggested combination of decision bases for assessing the performance of decision options for a specific decision is indicated by the intersection of the horizontal line and the various labelled areas contained within the central rectangle of the framework in Figure 3.15. The width of each intersection of the horizontal line and a decision basis is indicative of the relevance and weight that should be attached to that decision basis at that level in the framework. The decision bases range from technical codes and standards-based ways of assessing options to values based assessments based on company or wider societal values and stakeholder expectations and perceptions. Quantitative risk assessment (QRA) and cost/benefit analysis are represented in the middle of this range with a role that varies in relative significance across the range of decision contexts.

Some means of calibrating or checking the decision bases are listed on the left side of the rectangle. They vary from simply verifying that codes and standards have

Fig. 3.15  
A Decision Support Framework for Major Accident Hazard Safety (UKOOA, 1999)  
*Une stratégie d'aide à la décision pour la sécurité appliquée au danger d'accidents majeurs*

|  |  |
|--|--|
| Significance to decision making process                      | <i>Importance pour le processus de décision</i>  |
| Means of calibration   | <i>Moyens d'étalonnage</i>   |
| Codes and Standards  | <i>Codes et normes</i>   |
| Verification   | <i>Vérification</i>  |
| Peer review  | <i>Revue par les pairs</i>   |
| Benchmarking   | <i>Comparaison avec un modèle de référence</i>   |
| Internal stakeholder consultation                            | <i>Consultation des parties prenantes en interne</i>                                     |
| External stakeholder consultation                            | <i>Consultation des parties prenantes en externe</i>                                     |
| Decision context type  | <i>Décision du type de contexte</i>  |
| Nothing new or unusual                                       | <i>Rien de nouveau ou d'inhabituel</i>   |
| Well understood risks  | <i>Risques bien connus</i>   |
| Established practice   | <i>Pratique établie</i>  |
| No major stakeholder implications                            | <i>Pas de grande implication des parties prenantes</i>                                   |
| Lifecycle implications                                       | <i>Implications du cycle de vie</i>  |
| Some risk trade-offs/transfers                               | <i>Certaines concessions ou transferts de risques</i>                                    |
| Some uncertainty or deviation from standard or best practice | <i>Des incertitudes ou déviations par rapport aux normes ou aux meilleures pratiques</i> |
| Significant economic implications                            | <i>Importantes implications économiques</i>  |
| Very novel or challenging                                    | <i>Très nouveau, présentant un défi</i>  |
| Strong stakeholder views and perceptions                     | <i>Forte implication des parties prenantes</i>   |
| Significant risk trade-offs or risk transfer                 | <i>Importantes concessions ou transferts de risques</i>                                  |
| Large uncertainties  | <i>Grandes incertitudes</i>  |
| Perceived lowering of safety standards                       | <i>Diminution perçue des normes de sécurité</i>  |
| Good practice  | <i>Bonne pratique</i>  |
| Engineering Judgment   | <i>Jugement technique</i>  |
| Risk based analysis e.g. QRA, CBA                            | <i>Analyse orientée-risque de type QRA, CBA</i>  |
| Company values   | <i>Valeurs de l'entreprise</i>   |
| Societal values  | <i>Valeurs sociétales</i>  |

ou normes ont été appliqués correctement, ou de recueillir le jugement d'experts sur les vues et désirs des parties intéressées, grâce à la consultation ou l'implication dans le processus de décision.

Ainsi, dans le contexte d'une décision spécifique, ce cadre offre un moyen de détermination de l'importance des différentes méthodes d'évaluation des risques (codes et normes, QRA ou valeurs sociétales) et de juger laquelle est la plus adaptée pour estimer si les risques sont tolérables et conformes à l'ALARP. Bien sûr, les attributs des contextes de décision, des bases, leurs poids relatifs mentionnés dans la Fig. 3.15, et les moyens d'étalonnage peuvent varier selon les pays, et ne pas être les mêmes pour la sécurité des barrages que pour les activités en mer, mais le cadre général semble pouvoir être appliqué pour les prises de décision pour les barrages.

Les décisions concernant les travaux correcteurs trouvent place généralement dans le cadre itératif général du programme de sécurité d'un barrage, qui inclut habituellement un système d'inspections et de revues périodiques plutôt que des décisions uniques. La fréquence de ces activités varie, mais elles donnent l'occasion de passer en revue les décisions dans le futur, ou de reporter les décisions jusqu'à l'obtention d'informations supplémentaires, de manière à pouvoir proposer avec confiance une mesure de réduction des risques, voire de ne rien faire. Elles donnent aussi l'occasion de prendre en compte les évolutions des valeurs et attentes sociétales du propriétaire et des parties intéressées pouvant influencer les décisions, parallèlement aux avancées des connaissances ou compétences techniques. L'évaluation des risques doit donc être remise à jour à chaque revue de sécurité périodique, en même temps qu'est contrôlée l'efficacité des décisions antérieures, Étape 8 du processus général de décision présenté au début de cette sous-section.

### **3.4.3. Aperçu général des options de décision en matière de sécurité des barrages**

Du point de vue du gestionnaire ou du commercial, les options de traitement (contrôle) des risques peuvent être groupées selon les catégories suivantes, bien qu'elles ne soient « *pas mutuellement exclusives ou appropriées dans toutes les circonstances* » (SA/SNZ, 1999) :

- Éviter (éliminer) le risque – un choix pouvant être fait avant la construction d'un barrage, ou par la mise hors service d'un barrage existant ;
- Réduire (parer à) la probabilité d'occurrence – en général par des mesures structurelles, ou des activités de gestion des risques comme l'auscultation, la surveillance et les inspections périodiques ;
- Réduire (atténuer) les conséquences – par exemple mesures non structurelles comme la planification d'évacuations d'urgence ou le déplacement des populations exposées au risque ;
- Transférer le risque – par exemple par accord contractuel ou par la vente du barrage ;
- Conserver (tolérer ou accepter) le risque (résiduel) – après que les risques ont été réduits ou transférés, les risques résiduels subsistent et peuvent demander un financement (par exemple assurance).

been properly applied, to expert elicitation of stakeholder views and desires through consultation or involvement in the decision process.

Thus, within the context of a specific decision situation, the framework provides a way to determine the relative importance of the various methods of assessing risk (e.g. codes and standards, QRA, or societal values) and to judge which of these methods is best suited to assess whether the risks are tolerable and meet ALARP. Although the specific attributes of decision contexts, decision bases, their relative weights implied in Fig. 3.15, and the means of calibration might be different in different countries, and might differ in dam safety compared with offshore industry, the general framework would appear to have wide applicability for dam safety decision-making.

Dam safety decisions about remedial works typically take place within the iterative framework of a dam safety program, which usually includes a system of periodic inspections and periodic reviews rather than one-time decisions. Although the frequency of these activities varies, they provide an opportunity to review decisions in the future, or to defer decisions until additional information is obtained so that an acceptable level of confidence can be achieved to put forward a defensible case for proposed risk-reduction measure, or for doing nothing. They also provide the opportunity to take into account changes in the owner's societal and stakeholder values and expectations that might influence dam safety decisions in addition to advances in technological understanding or capabilities. Therefore dam safety risk assessments should be updated at the time of periodic safety reviews as part of an on-going review of the effectiveness of previous dam safety decisions in Step 8 of the general decision process listed at the beginning of this Sub-section.

### **3.4.3. General scope of dam safety decision options**

From a management or business perspective, risk treatment (control) options can be grouped into the following categories, although they are "*not necessarily mutually exclusive or appropriate in all circumstances*" (SA/SNZ, 1999):

- Avoid (eliminate) the risk – a choice that can be made before a dam is built, or through decommissioning an existing dam;
- Reduce (prevent) the probability of occurrence – typically through structural measures, or dam safety management activities such as monitoring, surveillance, and periodic inspections;
- Reduce (mitigate) the consequences – for example non-structural measures such as, by effective emergency evacuation planning or by relocating exposed populations at risk;
- Transfer the risk – for example, by contractual arrangements or sale of the dam;
- Retain (tolerate or accept) the (residual) risk-after risks have been reduced or transferred, residual risks remain and may require risk financing (e.g. insurance).

Les trois premières options réduisent le risque auquel les tiers sont exposés, alors que les quatrième et cinquième options ne le font pas, mais elles peuvent influencer le risque pour lequel le propriétaire est responsable. Chaque mesure structurelle ou non structurelle (voir CIGB 2001) a ses propres caractéristiques de réduction des risques, qui doivent être étudiées par l'évaluation des risques avant de rédiger des recommandations de décision. Cependant, en général, on préfère éliminer ou prévoir les risques plutôt que de faire entièrement confiance à des stratégies de détection, contrôle ou atténuation.

#### **3.4.4. Rôles dans le processus de prise de décision**

L'équipe d'analyse des risques n'a pas de rôle dans la prise de décision, bien qu'on puisse lui demander de faire des recommandations (Fig. 3.1). Il est important de faire une distinction claire entre le décideur et l'équipe d'analyse des risques. Le décideur doit peser et balancer les intérêts de la collectivité, du propriétaire et des autres parties. Il doit être capable d'appréhender tous les problèmes, et notamment de jauger des risques de différentes natures ; par exemple les risques impliquant des pertes financières par rapport aux risques impliquant des atteintes à l'environnement. Il peut être également nécessaire de prendre en considération des aspects de type risque politique, et l'allocation de ressources entre des besoins sociétaux concurrents. Ce sont des tâches subjectives auxquelles les disciplines scientifiques en peuvent apporter que peu d'assistance. C'est pourquoi dans le cadre de ce bulletin, le résultat d'une évaluation des risques est une recommandation de décision transmise au décideur par l'équipe d'analyse des risques.

Dans le passé, la plupart des propriétaires de barrage considéraient la prise de décision dans le domaine de la sécurité comme une responsabilité strictement technique. Bien que ce soit toujours le cas lorsque la base de décision est purement technique (par exemple codes et normes ou pratiques établies), lorsque des facteurs comme la probabilité de défaillance, les conséquences de celle-ci, l'incertitude de l'estimation, ou les contraintes exercées par les parties intéressées augmentent, la décision remonte en général à des niveaux plus élevés dans l'organisation propriétaire. Ceci peut également inclure d'autres parties concernées au cours d'un processus analytique-délibératif (Fig. 3.14), qui peut dans certains cas impliquer le niveau politique ou légal.

Le rôle d'un organisme réglementaire peut varier significativement de non existant à flexible (fixant des objectifs) ou rigide (prescriptif). En général, l'intérêt de l'évaluation des risques dans le processus de décision décroît avec un système réglementaire rigide, quoique certains bénéfices puissent être obtenus. D'autre part, l'UKOOA (1999) observe qu'une approche réglementaire fixant des objectifs « *fait peser des exigences accrues sur le processus de prise de décision, sur les décideurs, et sur les moyens d'archiver et de démontrer la robustesse de la décision* ». Le propriétaire reste cependant responsable de la sécurité du barrage dans tous les systèmes réglementaires.

#### **3.4.5. Recommandations de décision sur le niveau de sécurité pour un barrage individuel**

Comme mentionné ci-dessus, l'évaluation des risques fait partie de nombreuses bases de décision, dont l'utilisation d'analyses et de normes techniques

While the first three options reduce the risk to which third parties are exposed, the fourth and fifth options would not, although they may affect the risk for which the owner is responsible. Each structural or non-structural (see ICOLD 2001) measure has its own risk reduction characteristics, which should be investigated using risk assessment before proceeding to a decision recommendation. However, in general, elimination or prevention are preferred to placing a high reliance on detection, control, and mitigation approaches.

#### **3.4.4. Roles in decision-making process**

The risk analysis team is not usually assigned a decision-making role although it may be asked to make decision recommendations (Fig. 3.1). It is important to clearly distinguish the roles of the decision-maker and the risk analysis team. The decision-maker must weigh and balance the interests of the community, the owner, and other stakeholders. The decision-maker must make all necessary value judgements, including those needed to weigh risks of different types; for example, risks involving monetary loss against risks involving environmental degradation. There may also be a need to take into consideration such aspects as political risks and the allocation of resources among competing societal needs. These are all subjective tasks to which knowledge-based disciplines can give little assistance. Consequently, for the purposes of this bulletin, the outcome of a risk assessment is a decision recommendation that is put to the decision-maker by the risk analysis team.

In the past, most dam owners have viewed dam safety decision-making as a strictly technical responsibility. Although that is still the case where the decision basis is purely technical (i.e. codes and standards or established practices), as factors such as probability of failure, consequences of failure, uncertainties in assessment, strength of stakeholder views or perceptions increase, the decision is typically raised to higher levels within the owner's organisation. It may also include a range of other interested and affected parties in an analytical-deliberative process (Fig. 3.14), which might in some case involve the political or legal process.

The role of a regulator varies significantly from non-existent to flexible (e.g. goal setting) to rigid (i.e. prescriptive). In general, a rigid regulatory system provides a reduced scope for using risk assessment in the decision process, although some benefits can still be obtained. On the other hand, the UKOOA (1999) observes that a goal setting regulatory approach "*places greater demands on the decision-making process, the decision-makers themselves, and the means of recording and demonstrating the robustness of the decision*". However, whatever the regulatory system, the owner is ultimately responsible and liable for dam safety.

#### **3.4.5. Decision recommendations on the level of safety for an individual dam**

As has been observed above, risk assessment is one of various decision bases, including the use of traditional engineering analyses and standards, which can

traditionnelles, pouvant fournir des données au processus de décision, mais ne pouvant pas prendre la décision elle-même. Les informations en provenance de différentes bases de décision (voir Fig. 3.14), dont les résultats des appréciations des risques comparés aux règles de risque tolérable, peuvent être utilisées comme justification de l'amélioration de la sécurité. La forme des informations à apporter pour cette justification dépendra du contexte de décision, comme il a été exposé dans la sous-section 3.4.2. Dans certains cas, ces justifications sont appelées un « cas de sécurité » (HSE 1998) ou un « cas commercial ».

La justification par l'évaluation des risques comprend les résultats de l'appréciation des risques. Si un barrage existant respecte tous les critères de risque tolérable avec un niveau de confiance adéquat, notamment le principe ALARP, l'évaluation des risques justifie l'absence de mesures de réduction des risques ultérieures. Inversement, si le barrage ne respecte pas tous ces critères, ou ne répond pas à l'ALARP avec un niveau de confiance suffisant, l'évaluation des risques justifie la réduction des risques, ou au moins des recherches supplémentaires pour améliorer la confiance dans les appréciations de risques.

L'évaluation des risques peut apporter bien d'autres bénéfices au processus de décision, comme la compréhension des modes de défaillance, une base permettant de vérifier les modes ayant été traités par des mesures de réduction de risque comportant des systèmes redondants, de connaître l'importance des incertitudes techniques et d'avoir une vue d'ensemble de la répartition et de la gravité des conséquences d'une défaillance.

La considération des pratiques traditionnelles et des critères basés sur le risque peut mettre à jour des incohérences. Même s'ils respectent les pratiques actuelles basées sur une approche traditionnelle, et même après des mesures supplémentaires justifiées par l'ALARP, les barrages situés près des grands centres de population peuvent ne pas être conformes à des critères de risques tolérables pour les personnes avec une confiance suffisante, vu le niveau de connaissance en évaluation des risques. Dans cette situation, il peut être décidé que la situation géographique actuelle n'est pas acceptable pour continuer l'exploitation du barrage. Il peut également être décidé que la prolongation de l'exploitation est justifiée par les bénéfices qu'elle apporte, en faisant une exception aux critères d'appréciation des risques (cf. sous-section 3.3.4). La concertation avec la collectivité devra être une base de décision dans un tel cas.

Les analyses de risque économique peuvent être utilisées pour évaluer l'option de la mise hors service du barrage, mais des facteurs non économiques peuvent intervenir dans la recommandation de décision finale. Des indicateurs économiques et financiers, par exemple le rapport coût/bénéfice, la valeur actuelle nette, ou le retour d'investissement interne, sont parfois des données nécessaires pour le système de justification du patrimoine du propriétaire, même si elles fournissent rarement des arguments pour des améliorations de sécurité en soi.

Il n'y a pas de réponse « objective » ou universelle à la question « quel niveau de sécurité peut-on considérer comme suffisant pour un barrage ? ». Lorsque l'on atteint des niveaux de sécurité supérieurs, le nombre ou la sévérité des recommandations de décision pour des réductions de risques supplémentaires sont en général moindres. En utilisant correctement l'analyse des modes de défaillance et l'appréciation ALARP, basées au moins en partie sur l'évaluation des risques, des données

provide inputs to a decision process, but not the decision itself. In combination, information from various decision bases (see Fig. 3.14), including the outcomes of risk evaluations against tolerable risk guidelines, can be used to form a justification for dam safety improvements. The specific form of information that is included in such a justification should depend on the decision context, as discussed in Sub-section 3.4.2. In some cases these justifications are termed a “safety case” (HSE 1998) or “business case”.

The justification that comes from a risk assessment includes the outcomes from risk evaluation. If an existing dam meets all tolerable risk criteria with adequate confidence, including the ALARP principle, the risk assessment can be said to provide a justification for no further risk reduction measures. Alternatively, if an existing dam does not meet all risk criteria, or does not satisfy ALARP with adequate confidence, the risk assessment can be said to provide a case for risk reduction or at least for further investigations to improve the confidence in risk evaluations.

Risk assessment can provide many other benefits for the decision-making process, such as an understanding of failure modes, a basis for tracking which failure modes have been addressed by risk reduction measures and where redundancy has been incorporated, the importance of technical uncertainties, and a picture of the distribution and severity of dam failure consequences.

An inconsistency can exist when traditional practice and risk-based criteria are both considered. Even if they meet current practice based on the traditional approach, and even after additional ALARP-justified measures are implemented, dams that are located close to large population centres may not meet tolerable life safety risk criteria with adequate confidence, given the present state of the practice in risk assessment. In these situations it may be decided that the present location is not an acceptable one for continuing to operate a dam. Alternatively, it may be decided that the continued operation of the dam can be justified as an exception to the risk evaluation criteria because of the benefits that it provides (see Sub-section 3.3.4). Clearly there would be a case for community consultation as a decision basis in such a decision.

Economic risk analyses can be used to evaluate the option of dam decommissioning, although non-economic factors may override in the final decision recommendation. Economic or financial indicators, such as benefit-cost ratio, net present value, or internal rate of return, are sometimes required inputs to the owner’s capital projects justification system, even though they seldom provide the necessary justification for dam safety improvements by themselves.

There is no “objective” or universal answer to the question of how safe is safe enough for a dam? As higher levels of safety are achieved, the number and strength of decision recommendation justifications for further risk reductions are usually reduced. By properly applying failure modes analysis and ALARP evaluation, based at least in part on risk assessment, useful inputs can be provided for developing a defensible business case for dam safety decisions, and an assurance that all

intéressantes peuvent être rassemblées pour développer un plaidoyer commercial défendable pour les décisions de sécurité, et acquérir l'assurance que tous les modes de défaillance raisonnablement prévisibles ont été identifiés et bien pris en compte.

### **3.4.6. Recommandations de décision pour la réduction des risques**

La plupart des programmes de sécurité ont des objectifs relativement bien définis (cibles). Ils sont souvent exprimés sous forme de conformité à des normes techniques ou des bonnes pratiques existantes. Cependant, de nombreux programmes présentent des modalités vagues pour atteindre ces objectifs, et une intégration non optimale des différentes facettes du système de surveillance du barrage (par exemple programmes d'auscultation et de surveillance, formation des personnels, préparation aux alertes, exploitation et maintenance). Les étapes de réduction des risques et l'objectif de sécurité ont une influence importante sur le niveau de sécurité réel atteint au bout d'un certain temps.

Nous présentons ci-dessous certaines stratégies générales ayant été adoptées par des propriétaires de barrage qui utilisent l'information de risques comme l'une de leurs bases de décision (Bowles, 2001) :

1. Traiter rapidement les risques de forte probabilité en utilisant simultanément des mesures à court terme et à long terme. L'urgence est parfois liée à l'écart avec les critères des normes traditionnelles ou les critères de risques.
2. Donner la plus haute priorité aux mesures les plus rentables pour la réduction des risques sur les personnes, au moins jusqu'au point de diminution des bénéfices. À partir de ce point, le taux de réduction de risque économique ou financier est maximisé.
3. Grouper les réparations ou investigations en phases, les premières phases incluant les mesures ayant les meilleures justifications.
4. Échelonner les mesures sur chaque barrage en tant que projets de rénovation indépendants pour améliorer le taux de réduction de risque pour un ensemble de barrages.
5. Comparer pour étalonner les taux, ampleurs et bases des étapes de réduction de risque en collectant des informations chez des propriétaires de barrage du même type.

### **3.4.7. Maintenir un risque tolérable dans un programme de sécurité**

Des risques résiduels sont présents à tout moment au cours d'un programme d'amélioration de la sécurité, même lorsque toutes les mesures structurelles ont été mises en œuvre pour respecter les normes techniques et les pratiques actuelles. Le maintien de risques tolérables demande une vigilance permanente, s'appuyant sur des moyens du type de ceux listés ci-dessous, qui peuvent être renforcés par l'utilisation de l'information de risques.

- Contrôle des risques grâce aux procédures d'auscultation et de surveillance orientées vers des modes de défaillance identifiés.

reasonably foreseeable failure modes have been identified and adequately addressed.

### **3.4.6. Decision recommendations on pathways to risk reduction**

Most dam safety programs have relatively well-defined safety goals (targets). Often these are expressed as a commitment to engineering standards and current good practice. However, many programs have poorly-defined pathways for achieving these goals and less than optimal integration across different facets of a dam safety management program (e.g. monitoring and surveillance programs, staff training, emergency preparedness planning, and operations and maintenance). Both the risk reduction pathway and the target level of safety have an important influence on the level of dam safety that is achieved over time.

The following is a summary of some general strategies that have been adopted by dam owners who are using risk information as one of their decision bases (Bowles, 2001):

1. Rapidly address very high probability risks using both short-term and long-term measures. The urgency is sometimes related to the degree of departure from traditional standards or risk criteria.
2. Give the highest priority to risk reduction measures that are most cost effective for reducing life-safety risks, at least to a point of diminishing returns. From that point, the rate of economic or financial risk reduction is maximised, at least to a point of diminishing returns.
3. Group fixes and investigations into phases; with the earlier phases including those measures with the highest levels of justification.
4. Stage measures at individual dams, as separable construction upgrade projects, to increase the rate of risk reduction for a portfolio of dams.
5. Benchmark to calibrate the rate, extent, and basis for the risk reduction pathway through obtaining information on risk reduction decisions by comparable owners.

### **3.4.7. Maintaining tolerable risk in a dam safety program**

Residual risk exists at all times in a dam safety improvement program, even after all structural measures have been completed to meet engineering standards and current practice, but also throughout the life of a risk reduction program. Maintaining tolerable risk requires continuing vigilance through means such as those listed below, which can be strengthened using risk information:

- Risk control through monitoring and surveillance procedures that target identified failure modes.

- Contrôle des risques et détection des incidents par des hommes de terrain ayant été informés des modes potentiels de défaillance spécifiques à leurs barrages, notamment ceux qui n'ont pas été reconnus par les approches traditionnelles.
- Identification de moyens de renforcement des procédures d'exploitation et de maintenance critiques pour la sécurité du barrage, telles que celles qui sont importantes pour la fiabilité des systèmes de vannes des évacuateurs.
- Classification des modes de défaillance et efforts d'analyse sur les points ayant l'effet le plus important sur les risques, même s'ils résistent à l'analyse, comme la percolation ou les renards.
- Définition des priorités d'investigations de manière à réduire les incertitudes affectant la qualité des décisions techniques et commerciales.
- Formulation améliorée des mesures structurelles et non structurelles de réduction des risques (voir CIGB, 2001), qui traitent tous les processus importants des mécanismes de défaillance identifiés.
- Revue technique et assurance qualité plus efficaces pour les mesures correctives.
- Veille technologique pour identifier les mesures de réduction des risques plus rentables pouvant être appliquées dans l'avenir.

### **3.4.8. Autres applications commerciales**

Une gestion des risques efficace doit développer et utiliser l'information des évaluations de risque dans de nombreux secteurs de l'organisation propriétaire. Un défi important de la gestion du processus d'évaluation des risques est de transmettre l'information appropriée au secteur de l'organisation qui pourra en tirer parti. Quelques exemples d'utilisation commerciale des résultats de l'évaluation des risques sont présentés ci-dessous :

- Choix des priorités de gestion des risques traitant tous les risques affrontés par le propriétaire, et pas seulement les risques liés aux barrages.
- Plans d'urgence pour la rupture d'un barrage ou des défaillances moins catastrophiques.
- Planification de l'évacuation de la collectivité grâce à une meilleure connaissance des modes de défaillance, de leur détection, et leurs conséquences et du délai disponible pour l'alarme.
- Financement des pertes, estimation du caractère adéquat des dispositions d'assurance existantes pour mieux informer le directeur financier ou le gestionnaire de risques, et leurs assureurs de l'exposition au risque.
- Considérations juridiques, audit d'acquisition, contrôle interne et possibilité de défense juridique des décisions de sécurité.
- Impact des problèmes de sécurité sur la poursuite des objectifs commerciaux clés.
- Consultation de la collectivité pour informer le public des risques de défaillance des risques, impacts possibles, et mesures prises pour gérer les risques.

- Risk control and incident detection through field staff that are informed about potential failure modes specific to their dams, including those which may have gone unrecognised using traditional approaches.
- Identification of ways to strengthen operations and maintenance procedures critical to dam safety, such as those important for the reliability of spillway gate systems.
- Ranking failure modes and directing analysis efforts to the issues, which have the most significant effect on dam safety risks, even if they are not readily amenable to analysis, such as seepage and piping.
- Prioritising investigations to reduce uncertainties affecting the quality of technical and business decisions.
- Improved formulation of effective structural and non-structural risk reduction measures (see ICOLD, 2001), which address all significant processes in identified failure mechanisms.
- More effective technical review and quality assurance of remedial designs.
- A technology watch to identify more cost-effective risk reduction measures, which might become available in the future.

### **3.4.8. Other business uses**

Effective risk management should develop and utilise information from risk assessments in many different parts of the dam owner's organization. An important challenge in managing the risk assessment process is to get the appropriate risk information to the part of the owner's organization where its benefits can be realized. Some examples of business uses of risk assessment outcomes are listed below:

- Corporate risk management prioritisation schemes that address all risks faced by the owner and not just dam safety risks.
- Business contingency planning for dam failure and non-catastrophic failure risks.
- Community emergency evacuation planning through an improved understanding of dam failure modes, their detection, their consequences, and available warning time.
- Loss financing, including insurance, to assess the adequacy of the existing insurance provisions and to better inform the owner's finance officer or risk manager and its underwriters of risk exposure.
- Legal considerations, due diligence, internal control and legal defensibility of dam safety decisions.
- Business criticality through relating dam safety issues to meeting key business results indicators.
- Community consultation to inform the affected public of dam failure risks, the likely impacts, and the steps being taken to manage the risks.

---

## 4. APPLICATIONS ACTUELLES

---

### 4.1. CONTEXTE

Cette section décrit l'utilisation actuelle de l'évaluation des risques dans les pays membres de la CIGB. La description des applications s'appuie principalement sur les réponses à une enquête effectuée auprès de tous les membres. Elle se fixe pour objectif de présenter de manière neutre chaque application de l'évaluation des risques aux barrages dans les pays ayant répondu, et les législations, réglementations... associés. Elle montre l'ampleur actuelle de la mise en œuvre de l'évaluation des risques dans le domaine des barrages.

Cette étude s'appuie sur les réponses à une lettre du 2 mai 2001 du président du Comité de sûreté des barrages (CODS) à tous les pays membres. Les informations demandées pour cet « inventaire des pratiques d'évaluation des risques pour la gestion de la sécurité des barrages » étaient :

1. utilisation des analyses ou de l'évaluation des risques dans le pays ;
2. textes de référence ou documents similaires se rapportant à l'évaluation/analyse des risques pour les barrages ;
3. dispositions législatives de sécurité relatives à l'évaluation/analyse des risques ;
4. recherches en cours sur l'analyse/évaluation des risques ;
5. études d'analyse/évaluation des risques (pour les barrages) effectuées, en cours ou devant démarrer, en précisant l'objectif de l'étude (par exemple, détermination des niveaux nécessaires de sécurité, choix des priorités de recherche ou de rénovations, etc.) ;
6. politiques de tolérabilité des risques ayant été établies par le gouvernement, les organismes de régulation, ou ayant été proposées par les associations professionnelles ;
7. liste de références de rapports, articles ou documents techniques spécifiques à l'évaluation / analyse des risques dans le pays ;
8. invitation à commenter la base scientifique des approches utilisées ;
9. invitation à commenter l'utilité des stratégies d'évaluation des risques pour des ensembles de barrages, si elles existent dans le pays.

Nous avons recueilli des informations sur 24 pays, la plupart grâce à une réponse à cet inventaire.

Certaines informations concernaient l'ex-Yougoslavie. Pour éviter des complications dans l'affectation aux pays issus de la division de ce pays, les informations sont toujours listées sous Yougoslavie dans cette section.

Les informations de quelques pays ont été tirées de McGrath (2001a) et le rapport « Churchill » associé (McGrath, 2001b). Dans ce rapport, McGrath décrit

---

## 4. CURRENT APPLICATIONS

---

### 4.1. BACKGROUND

This section describes the use that is presently made of risk assessment in the member countries of ICOLD. The description of the applications is based primarily on the responses to a survey of all member countries. The section aims to make a factual statement of any application of risk assessment for dams in the responding country, and of any associated legislation, guidelines and the like. It shows the extent to which risk assessment principles are currently being applied in the management of dam safety.

The survey was based on responses to a letter of 2 May 2001 of the Chairman of the Committee on Dam Safety (CODS) to all member countries. The required information asked for in this “inventory of the practice of risk assessment in dam safety management” was:

1. use of risk analyses or assessment for dam safety in the country;
2. guidelines or similar documents relevant for risk analysis/assessment for dams;
3. legislative provisions on dam safety that relate specifically to risk analysis/assessment;
4. research in progress on risk analysis/assessment for dams;
5. risk analysis/assessment studies (for dams) that have been undertaken, are in progress or are imminent, including the purpose of the study (for example, to determine required safety level for dam(s), to prioritise investigation or upgrade activities, etc.);
6. any policies on tolerability of risk that have been established by government, regulatory agencies or organizations, or that have been proposed by professional associations;
7. a list of references to reports, technical papers or documents that are specific to risk analysis/assessment activities in that country;
8. an invitation to comment on the scientific basis of approaches which are in use;
9. an invitation to comment on the usefulness of portfolio risk assessment approaches, if applied in the country.

In total, information became available from 24 countries, mainly through reply on the inventory.

Some of the information related to the former country of Yugoslavia, though that country no longer exists. To avoid complications in relating the information to the successor countries, the information is still listed under Yugoslavia in this section.

The information from a few countries was based on McGrath (2001a) with the underlying “Churchill” report (McGrath, 2001b). In that report, McGrath’s

les pratiques de l'évaluation des risques pour les barrages dans 7 pays (Royaume-Uni, France, Pays-Bas, Norvège, Suède, États-Unis et Canada). Il faut noter que lorsque des extraits de ce rapport sont cités dans ce chapitre, ils représentent la « version » de l'auteur, et pas forcément la position ou l'opinion du Comité national de ces pays. Il faut noter également que certains pays ont fourni directement des informations supplémentaires.

Une version préliminaire de la section 4 a été envoyée pour vérification à l'ensemble des 82 Comités nationaux. Au total, 17 pays ont commenté cette version, y compris des pays qui n'avaient pas répondu à la lettre de demande d'information dont nous avons parlé. Les 28 pays membres du Comité de sûreté des barrages ont passé en revue les versions successives de la section 4 et l'ont commentée en conséquence. Ensuite, la version quasi-finale du bulletin complet a été soumise à tous les pays membres, conformément à la procédure CIGB normale. Quelques pays ont alors encore fourni des informations supplémentaires. Tous ces commentaires ont été pris en compte pour la version finale de la section 4. Pour finir, des modifications supplémentaires ont été portées à cette section de manière à être en accord avec la rédaction finale et la mise en page de la section 3.

Les citations directes des réponses des Comités nationaux et du rapport de McGrath sont mentionnées en *italiques*.

Une référence spéciale est donnée ici au lecteur qui désire trouver plus d'information contextuelle sur l'application des évaluations de risque aux barrages. Les actes du Vingtième Congrès International des Grands Barrages, 19-22 septembre 2000, Pékin, Chine, présentent un grand nombre d'articles sur ce sujet. Les actes ont été publiés par la CIGB. Dans le volume I, tous les articles sont relatifs à la « Question 76 » :

*Utilisation de l'analyse de risque comme aide à la gestion et aux décisions de sécurité pour les barrages.*

Le volume I présente 48 articles en provenance de 19 pays. Le volume V contient 17 articles sélectionnés de 9 pays, utilisés pour des sessions et discussions techniques sur la Question 76.

La présente section concernant les applications actuelles s'appuie sur les réponses initiales et plus tardives fournies par les pays membres à la lettre du président du COD, présentée au début de cette section, et non sur les articles du congrès de Pékin.

## **4.2. CADRE DE DESCRIPTION DES APPLICATIONS**

Certaines réponses à la lettre d'inventaire étaient très courtes, et disaient simplement que l'évaluation des risques n'était pas utilisée dans le pays. D'autres réponses étaient plus longues, et comprenaient plusieurs articles ou rapports. Les États-Unis ont largement commenté la version préliminaire du bulletin (commentaires de plusieurs personnes ou instituts, et quelques articles). La Suisse a fait de même.

understanding of the practice and use of risk assessment in dam safety management is described for 7 countries (United Kingdom, France, the Netherlands, Norway, Sweden, United States and Canada). It should be noted that where material from his report has been quoted in this chapter, it represents the “understanding” of the author and not necessarily the position or opinion of the national committee of that country. Note also that some of these countries have provided additional information directly.

A draft version of Section 4 has been circulated to all 82 national committees for checking. In total 17 countries made comments on the draft, including countries that did not reply on the letter of request for information described above. Also the 28 member countries of the Committee on Dam Safety have reviewed the various drafts of Section 4 and have commented appropriately. Then, the near-final draft of the complete bulletin was available for review by all member countries, in accordance with normal ICOLD procedure. As a result, a few countries submitted additional information. All of these comments have been taken into account for the final version of Section 4. Moreover, further modifications were made to this section in order to be in line with the final wording and set-out of Section 3.

Direct quotations from national committee responses and from McGrath’s report can be distinguished through sections in *italics*.

One special reference is given here for the reader who would like to find more background information on applying risk assessment to dam safety needs. The Proceedings of the Twentieth International Congress on Large Dams, 19-22 September 2000, Beijing, China, gives a large number of papers on this topic. The proceedings have been published by ICOLD. In Volume I all the papers are related to “Question 76”:

*The use of risk analysis to support dam safety decisions and management.*

In Volume I a total of 48 papers are given from 19 countries. Volume V contains 17 selected papers from 9 countries, which have been used for technical sessions and discussions on the above-mentioned Question 76.

The present section on current applications, however, relies on the member countries’ initial and following responses to the letter of the chairman of CODS, as presented at the beginning of this section, and not on the papers from the Beijing Congress.

## **4.2. FRAMEWORK FOR DESCRIPTION OF APPLICATIONS**

Some of the replies to the inventory letter were very short, simply saying that risk assessment was not used in the country. Other replies were extensive, including several papers and reports. Comments on the draft bulletin were extensive from the USA (comments from various persons/institutes and a few papers) and from Switzerland.

Les nombreuses questions sur les différents aspects de l'évaluation des risques et la variété des réponses rendent nécessaire un cadre rigoureux pour décrire les applications. Tout d'abord, les informations ont été divisées en :

- informations reliées directement à la **gestion des risques** (analyse, appréciation, évaluation);
- **informations connexes** de type législation, textes ou ouvrages de référence, etc.

La sous-section 4.3 décrit les applications de la gestion des risques, la sous-section 4.4 les problèmes associés.

Peu de pays ont répondu à l'invitation à commenter la validité scientifique des méthodes d'analyse des risques, ou l'utilité de l'évaluation des risques pour un ensemble de barrages. C'est pourquoi il n'y a pas de sous-titre séparé pour ces sujets, et les quelques commentaires reçus ont été intégrés dans d'autres sous-sections.

L'application de **la gestion des risques** (sous-section 4.3) a été divisée plus finement conformément à la section 3 de ce bulletin :

- Analyse des risques (génération d'informations sur les risques) – Sous-section 4.3.1 ;
- Appréciation des risques (principes pour décider de l'importance des risques) – Sous-section 4.3.2 ;
- Application de l'évaluation des risques aux recommandations de décision – Sous-section 4.3.3.

Pour **l'analyse des risques** (4.3.1) une subdivision supplémentaire peut être effectuée :

- Approche basée sur la normalisation (SBA). Pas d'analyse de risque explicite (mais le risque et la sécurité ont été implicitement pris en compte, avec les hypothèses de charge et les coefficients de sécurité). De telles approches comprennent la « classification » des barrages selon les conséquences de rupture : très importantes, moyennes (importantes) et faibles ;
- Analyse qualitative de risques ;
- Analyse quantitative de risques.

Différentes analyses de risque qualitatives ont été mentionnées. Des exemples peuvent être trouvés dans les volumes I et V du 20<sup>e</sup> Congrès International des Grands Barrages, (CIGB, 2000) et dans les réponses de chaque pays qui suivent. Tous les pays classifient un certain nombre de barrages pour déterminer les programmes de surveillance et pour fixer les priorités d'études plus détaillées et de mesures de réduction des risques. Certains pays utilisent des techniques plus élaborées de type AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) ou AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, Effets et Criticité) – Voir les définitions dans la section 6, glossaire.

Les techniques quantitatives d'analyse des risques sont les simulations de Monte Carlo, les approches d'intégration complète et de Premier ordre, Second

The many questions on various aspects of risk assessment and the variety of answers makes it necessary to describe the applications using a consistent framework. First of all the information was divided into:

- information directly related to **risk management** (analysis, evaluation, assessment);
- **related information** like legislation, guidelines, references, etc.

Sub-section 4.3 describes the applications of risk management, Sub-section 4.4 the related issues.

Few countries responded to the invitation to comment on the scientific validity of methods of risk analysis or on the usefulness of portfolio risk assessment. Consequently, there are no separate headings for these topics and the few comments received are absorbed into the other sub-sections.

Application of **risk management** (Sub-section 4.3) was further sub-divided according to Section 3 of this bulletin:

- Risk analysis (the generation of information on risks) – Sub-section 4.3.1;
- Risk evaluation (principles for deciding the significance of risks) – Sub-section 4.3.2;
- Applications of risk assessment to decision recommendations – Sub-section 4.3.3.

For **risk analysis** (4.3.1) a further subdivision can be made:

- SBA: Standards-based Approach. No explicit risk analysis (but implicitly there has been thought about risk and safety, leading to design loads and safety coefficients). Such approaches include “classification” of dams into those with high, medium (or significant) and low potential consequences of dam failure;
- Qualitative Risk Analysis;
- Quantitative Risk Analysis.

Various qualitative risk analysis techniques have been mentioned. Examples can be found in Volumes I and V of the 20th Congress on Large Dams (ICOLD, 2000) and in the individual country responses, which follow. They all rank a number of dams and are used to set surveillance programs and to prioritise more detailed studies and measures for risk reduction. Some countries use more elaborated techniques like FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) or FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) - see the definitions of Section 6, Glossary.

Quantitative risk analysis techniques are Monte Carlo simulations, Full Integration and First Order Second Moment Approaches (FOSM), often in

moment (FOSM), souvent en combinaison avec les Analyses par arbre d'événement (AEE) ou arbre de défaillances (ADD). Pour des phases détaillées, certaines de ces techniques sont également utilisées dans l'analyse qualitative de risques.

La sous-section 4.3.2 décrit **l'appréciation des risques** avec des critères de tolérabilité pour les risques sur la vie pour les individus, pour la société (notamment l'utilisation de courbes F-N ou f,N; voir sous-section 3.2.5) et les risques économiques ou financiers. Les pays, qui utilisent l'approche basée sur la normalisation pour l'analyse des risques n'utilisent pas de données supplémentaires pour l'appréciation des risques au-delà des coefficients de sécurité adoptés. La description de l'appréciation des risques est basée sur la réponse des autres pays, où l'évaluation des risques a été appliquée.

Les réponses sont présentées sous **Applications de l'évaluation des risques aux recommandations de décision** (Sous-section 4.3.3). Des pays comme la France et la Suisse « n'utilisent pas l'évaluation des risques » de manière explicite, mais ont une vue d'ensemble claire sur le contrôle et la gestion des risques. Le principe ALARP (*As Low as Reasonably Practicable* – aussi bas que raisonnablement praticable, voir section 3.3.5) est un principe de base pour la décision sur des améliorations futures. Il appartient en partie à l'appréciation des risques (quels sont les critères à accepter, qu'est-ce qui est « raisonnable » ou « faisable »), mais est également un instrument pour le contrôle et la gestion des risques.

Pour finir, une méthode couvre l'ensemble de l'évaluation des risques (analyse, appréciation, gestion et contrôle), mais de manière assez simple et rapide, et uniquement pour un groupe de barrages : L'Évaluation multiple des risques (PFRA), voir glossaire. La stratégie PFRA mène généralement à l'identification de possibilités d'amélioration de la gestion des risques pour un groupe de barrages, sous la responsabilité d'un seul propriétaire, d'un organisme régulateur ou d'une juridiction.

Bowles and Johnson, 2001.

*L'Évaluation multiple des risques (PFRA) respecte des étapes de reconnaissance, d'identification, d'évaluation et d'appréciation pour un groupe de barrages, et des mesures de réduction des risques. Le résultat comprend une évaluation des normes techniques et du profil de risques pour les barrages existants, et une base de développement et de priorités de rentabilité pour les mesures de réduction des risques et les recherches associées. D'autres résultats peuvent être utilisés pour renforcer le programme d'auscultation et de surveillance du propriétaire, et pour fournir des données pour différents processus commerciaux, de type budgétisation, évaluations légales, financement des pertes et planification des alertes.*

### **4.3. APPLICATIONS ACTUELLES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES DANS LA GESTION DES RISQUES**

#### **4.3.1. Analyse des risques**

L'analyse des risques est l'utilisation des informations disponibles pour estimer les risques concernant des individus ou des populations, des biens ou l'environnement, entraînés par des phénomènes dangereux. L'analyse des risques comprend en général les étapes suivantes : définition du domaine d'application, identification des phénomènes dangereux et évaluation des risques.

conjunction with Event (ETA) and Fault Tree Analysis (FTA). At certain (detailed) stages some of these techniques were also used in the qualitative risk analysis.

Sub-section 4.3.2 describes **risk evaluation** with aspects like tolerability criteria for individual life safety risk, societal life safety risk (including use of F-N curves or f,N plots, see Sub-section 3.2.5) and economic or financial risk. Countries, which use SBA for risk analysis, have no further input to risk evaluation beyond the accepted safety coefficients and, therefore, the description of risk evaluation is based on the replies of other countries, where risk assessment has been applied.

Under **applications of risk assessment to decision recommendations** (Sub-section 4.3.3) all replies can be considered. Some countries (like France and Switzerland) “do not use risk assessment” explicitly, but they have a clear view on risk control and management. The ALARP principle (As Low As Reasonably Practicable, see Sub-section 3.3.5) is a basis to decide on further improvements (or not). A part belongs to risk evaluation (what are the criteria to be accepted, what is “reasonable” or “practicable”), but certainly it is an instrument for control and management of risk.

Finally, one method covers the complete risk assessment (analysis, evaluation, management and control), but in a fairly simple and short way and only for a group of dams: the Portfolio Risk Assessment (PFRA), see Glossary. The PFRA approach typically leads to the identification of opportunities for improved dam safety risk management of a group of dams, which are the responsibility of a single owner or regulator or other jurisdiction.

From Bowles and Johnson, 2001.

*Portfolio risk assessment (PFRA) involves the reconnaissance level application of the identification, estimation, and evaluation steps of dam safety risk assessment to a group of existing dams and risk reduction measures. The outcomes include an engineering standards assessment and risk profile for the existing dams, and a basis for developing and cost-effectively prioritising risk reduction measures and supporting investigations. Other outcomes can be used to strengthen the owner's monitoring and surveillance program, and to provide inputs to various business processes, such as capital budgeting, legal evaluations, loss financing, and contingency planning.*

### **4.3. CURRENT APPLICATIONS OF RISK ASSESSMENT IN RISK MANAGEMENT**

#### **4.3.1. Risk analysis**

Risk analysis is the use of available information to estimate the risks for individuals or populations, property or the environment, from hazards. Risk analyses generally contain the following steps: scope definition, hazard identification, and risk estimation.

Dans la sous-section 4.2, l'analyse des risques a été divisée en trois types, l'approche basée sur la normalisation, l'analyse qualitative des risques et l'analyse quantitative des risques.

### ***Approche basée sur la normalisation - SBA***

La SBA correspond à une conception selon les pratiques standard de l'ingénierie, en connaissant les possibilités de défaillances et de leurs conséquences, et en utilisant des coefficients de sécurité. Tous les pays utilisent d'ailleurs cette méthode. La moitié des 24 pays dont les pratiques sont décrites dans cette section n'utilisent que la SBA et n'utilisent pas explicitement d'analyse qualitative ou quantitative de risques pour la gestion des barrages. La plupart des pays utilisent cependant des informations statistiques, par exemple pour la détermination des débits sortants extrêmes ou des niveaux d'eau à considérer, ou pour la conception sismique. Une telle procédure est considérée comme faisant partie de la SBA.

Certains pays n'ont pas assez d'expérience de l'analyse des risques pour pouvoir la mettre en œuvre, et sont ouverts à toutes indications, par exemple dans ce bulletin CIGB. Quelques pays (Thaïlande, Libye) mentionnent que « *des revues de sécurité* » ont été effectuées par des consultants étrangers, mais la portée de ces revues n'a pas été communiquée.

D'autres pays, qui n'utilisent que la SBA, sont moins enclins à prendre en compte l'analyse ou l'évaluation des risques. Ils pensent que l'évaluation des risques n'apportera pas de résultats fiables « *car chaque barrage est un cas spécifique* », et il existe un certain scepticisme sur « *une détermination quantitative des risques pour certains mécanismes de défaillance* ». L'Autriche, dans ses commentaires sur le bulletin provisoire, présente certaines réserves sur l'évaluation des risques.

*L'évaluation des risques pour l'ingénierie des barrages doit toujours prendre en compte le fait que chaque barrage est une structure unique très dépendante de l'environnement (fondations, climat, crues, séismes). Il serait donc trompeur d'utiliser la même approche que celle utilisée dans l'industrie en général, où l'environnement est bien mieux défini (comme pour les processus de production). L'évaluation des risques ne doit être considérée que comme un outil précieux pour aider le professionnel à estimer la sécurité et l'intégrité des barrages. Cette évaluation ne constitue bien sûr que la première phase. Le professionnel devra décider sur cette base si des mesures de rénovation sont nécessaires. Si des mesures deviennent nécessaires, le professionnel devra envisager diverses solutions et décider de celle à appliquer.*

Trois autres pays (Finlande, France et Suisse) ont développé un système présentant des éléments d'évaluation des risques, mais pas d'évaluation des probabilités de rupture.

**Finlande :** Des objectifs et mesures de sécurité sont présents dans la législation de sécurité des barrages (entrée en vigueur en 1984). Le niveau des mesures de sécurité est basé sur les risques pour les personnes en aval (le critère de base étant la mise en danger d'une vie), mais les pertes importantes de biens, ou les effets sur l'environnement sont également pris en considération. Les barrages sont classés, et les organismes de sécurité civile locaux doivent être prêts à intervenir (plans d'action d'urgence), ce qui nécessite de mieux prendre en compte les risques. Les organismes de sécurité civile utilisent leur propre système de graduation des risques

In Sub-section 4.2, risk analysis was divided into Standards-based Approach (SBA), qualitative risk analysis and quantitative risk analysis.

### ***Standards-based Approach - SBA***

SBA means designing according to standard engineering practice, knowing about the possibility of failures, including consequences, and designing with safety coefficients. In fact all countries use this method. Half of the 24 countries, for which practices are described in this section, use only SBA and do not explicitly use qualitative or quantitative risk analysis in dam safety management. Most of the countries use statistical information, however, for example for determination of the extreme discharges or water levels to be considered, or for earthquake design. Such a procedure has been considered as part of SBA.

Some countries do not have (enough) experience on risk analysis to perform such a study and welcome any guidance, for example in this ICOLD bulletin. A few countries (Thailand, Libya) mention that “*safety reviews*” have been done by foreign consultants, but the extent of these reviews has not been given.

Other countries, which use only SBA, are more reluctant to consider risk analysis or risk assessment. They believe that risk assessment will not produce reliable results “*as each dam is an individual case*” and there is scepticism about “*quantitative risk determination for some failure mechanisms*”. Austria, through its comments on the draft bulletin, has also reservations with respect to risk assessment:

*Risk assessment in dam engineering should always take into account that each dam is a unique structure very much dependent on the prevailing environment (foundation, climate, flood, earthquake). Thus it is misleading to use the same approach as it is used in the general industries where the environment is far more well-defined (like in production processes). Risk assessment should only be considered as valuable tool to aid the dam professional in his/her duty to assess the safety and integrity of dams. This assessment of course is only the first step. Based on the assessment, it is to be decided by the dam professional if rehabilitation measures are necessary. If measures become necessary again the dam professional has to look at alternative solutions and decide which solution to carry out.*

Three other countries (Finland, France and Switzerland) have developed a system, which includes elements of risk assessment, but not the estimation of failure probabilities.

**Finland:** In the country’s dam safety legislation (which came into force in 1984) basic safety requirements and measures are laid down. The level of safety measures is based on the downstream risk for loss of life (endangering one life is the criterion) and significant property losses or environmental damages are considered as well. Thus dams are classified and the demand for preparedness by the local governmental emergency organizations (preparation of emergency action plans - EAP’s) makes further considerations on risks necessary. The emergency organization uses its own risk-scoring system to fit the dam as a dangerous object

pour classer le barrage comme « installation dangereuse » dans leurs plans d'action d'urgence généraux. La supervision des inspections de sécurité sur les barrages, ainsi que d'autres mesures, est de la responsabilité des centres environnementaux de district. L'Institut finlandais de l'environnement est chargé de la gestion de la sécurité des barrages. L'autorité de tutelle est le Ministère de l'agriculture et de la forêt, excepté pour la planification des urgences, sous contrôle du Ministère de l'intérieur. Les procédures techniques de sécurité sont définies dans le Code de pratique finlandais de sécurité pour les barrages, dont la dernière édition date de 1997. Une mise à jour de ces indications a été effectuée environ tous les cinq ans, la première édition datant de 1985.

La législation et le Code de pratique n'exigent pas d'analyse de risques. Il existe néanmoins une demande pour la préparation d'une analyse de rupture de barrage, comprenant plusieurs scénarios et cheminements d'ondes de rupture, celle-ci étant effectuée en laboratoire de physique hydraulique, ou par modélisation numérique, pour laquelle un cheminement dynamique complet en 1D est le minimum envisageable. Les experts chargés de l'analyse doivent également évaluer les impacts et les dangers. La population menacée est définie, mais l'estimation statistique des pertes humaines n'est pas courante. Les plans d'action d'urgence ne prennent en compte que l'un des scénarios étudiés, celui d'une évacuation au sec, avant l'arrivée de l'onde de crue.

**France :** *L'utilisation de techniques d'évaluation des risques, de risques tolérables n'est pas une pratique courante, ni dans les ouvrages de référence, ni dans la législation. Cette caractéristique générale n'est pas contradictoire avec l'utilisation isolée de certains points du processus d'évaluation des risques. Ce pourrait être par exemple l'identification de phénomènes dangereux externes, ou de modes de défaillance possibles qui pourraient être considérés sous forme d'analyse par arbre d'évènements, mais sans estimation des probabilités. Le risque est cependant, bien évidemment, la question centrale dans toutes les activités concernant les barrages. (...) L'une des applications principales est la prévention des ruptures de barrages, avec préparation de plans d'urgence spécifiques ou analyse de la crue de rupture. Il existe toutefois un décret s'appliquant à la surveillance des barrages. Celui-ci impose une étude des risques. Mais la législation ne mentionne ni l'approche traditionnelle, ni l'évaluation des risques. Toutefois, le CFGB ou le gouvernement français ont publié des textes de référence généraux sur certains aspects de la sécurité.*

La conclusion est : *Dans tous les cas, l'évaluation formelle des risques n'a pas encore prouvé son efficacité notamment si l'on prend en compte les coûts des études. En particulier, on considère souvent que l'effort d'amélioration du système d'auscultation du barrage est la meilleure manière d'améliorer les niveaux de sécurité généraux.*

**Russie :** Il existe en Russie un système bien développé de codes et de règles de construction (SNIp) pour l'ingénierie des barrages en Russie, où les barrages et structures associées sont classés suivant le type de fondation, leur hauteur, l'importance de la fonction du barrage, et la nature des conséquences d'une rupture sur la population, les biens et l'environnement. Il n'existe pas de dispositions concernant l'analyse ou l'évaluation des risques dans ces règles ; celles-ci imposent un calcul par la méthode de l'état limite. Les calculs utilisent des facteurs de

into their general emergency action plans. Supervision of dam safety inspections, as well as other measures, is the responsibility of district environment centres. The Finnish Environment Institute is in charge of dam safety development. The top supervising authority is the Ministry for Agriculture and Forestry, except for emergency preparedness and action planning, for which the Ministry of the Interior is in charge. Technical dam safety procedures are defined in the Finnish Dam Safety Code of Practice, with the last issue in 1997. An up dating of these guidelines has been conducted at approximately 5-year intervals, starting with the first guideline in 1985.

There is no demand for a risk analysis in the legislation, nor in the last Dam Safety Code of Practice. There are nevertheless the demands to prepare a dam-break analysis, including several failure scenarios and dam-break flood routing, for which the technical analyses are either by physical hydraulic laboratory research or numerical modelling, for which 1D-fully dynamic routing is a minimum requirement. The expert in charge of the analysis has also to evaluate the impacts and hazards. The population at risk is defined, but the statistical estimation of loss of life is not common. The emergency action plans normally consider only one case of the investigated scenario and only the case of evacuation in the dry, before flood wave arrival.

**France:** *It is not in the current practice, neither in guidelines nor legislation (use of risk assessment techniques, tolerable risk, ...). This general point is not contradictory with the use of some particular individual steps of the risk assessment process. For instance, it could be the identification of external hazards or of possible failure modes that could be considered as an event-tree analysis, but without the estimation of probabilities. However, risk is, of course, the central question of all the activities about dams (...). One of the main applications is the prevention of failure of dams, with preparation of specific emergency plan or the analysis of danger flood. There is, however, a law decree for dam safety surveillance. The decree for dam emergency planning includes the need of a risk study. But neither the traditional approach, nor risk assessment are quoted in the legislation itself. However, FCOLD or the French government published general guidelines on some aspects of dam safety.*

And concluding: *In all cases, formal risk assessment has not yet proved its efficiency in general and when taking into consideration the costs of the studies. In particular, it is often considered that an effort to improve the monitoring system of a dam is a better way to increase the global security level.*

**Russia:** There is a well developed system of construction codes and rules (SNiP) in dam engineering in Russia, where dams and other dam engineering structures are classified according to type of soil in their foundation, their height, classification by the importance of the dam's function, and the nature of the consequences of their possible failure to population, property and the environment. Although there are no provisions about risk analysis and assessment in these rules, they require computations by the limit state method. The computations use reliability factors,

fiabilité, prenant en compte le type fonctionnel de la structure, et les conséquences lorsqu'un état limite survient.

Une nouvelle édition du SNiP *Structures techniques de barrages - Dispositions principales de conception* a été rédigée. Elle prend en compte les prescriptions de la loi fédérale *La sécurité des structures techniques de barrages*, entrée en vigueur en 1997 et demandant l'analyse et l'évaluation des risques de rupture des barrages.

**Suisse** : La législation suisse sur les barrages s'appuie sur une surveillance méticuleuse et une planification des urgences. Mais au-delà de cette législation, il existe un intérêt des groupes suisses de consultants en ingénierie pour l'application d'approches basées sur les risques pour l'évaluation de la sécurité des barrages.

**États-Unis, Californie** : L'état de Californie, États-Unis, Département des ressources en eau, connaît les techniques d'évaluation des risques, mais a décidé de ne pas les utiliser.

*Nous sommes d'accord sur le fait que l'analyse des risques peut être un outil extrêmement utile pour fixer les priorités dans les projets de sécurité des barrages. Nous pensons également qu'il sera très utile de justifier le choix des priorités à toute personne mettant en question les programmes, notamment suite à une rupture.*

*La Californie présente l'un des programmes les plus anciens et les plus stricts de sécurité des barrages existants. L'utilisation de l'évaluation des risques présentée dans ce bulletin est connue des ingénieurs californiens, et des autorités du département des ressources en eau, mais le choix a été fait de ne pas les utiliser comme outil d'aide à la décision.*

Certains pays n'utilisant que la SBA, mais également des techniques d'analyse plus qualitatives, présentent une certaine classification des barrages selon les conséquences de rupture, d'élevées à très faibles, en général basée sur la taille du barrage et du réservoir, mais sans analyse de risques plus poussée.

### **Analyse qualitative de risques**

Les analyses de risques qualitatives les plus simples sont les techniques de « classification », qui classent un certain nombre de barrages et fixent des priorités pour les mesures de réduction des risques. Les techniques mentionnées sont l'Indice de danger (Pologne – Opyrchal, Hrabowski et Jankowski, 2000), l'Indice global de risques (Portugal – Codes de Pratique pour la conception des barrages, 1993), Profil d'exposition préliminaire aux risques (PREP – Canada – Hartford et Stewart, 1999), l'Indice de priorités basé sur le PREP (Suède – Réponse à l'inventaire de l'évaluation des risques ; pas de référence explicite), Indice de criticité (R.U. - Hughes *et al.*, 2000) et le Schéma basé sur les risques (USA – Johnson, 2000).

Les analyses qualitatives de risques plus détaillées, de type AMDE et AMDEC, ont été utilisées par moins de la moitié des pays ayant répondu. Parmi ceux-ci, et appuyés par des articles ou rapports, on trouve des pays comme l'Australie, les États-Unis et le Canada. On notera que les principaux auteurs de ce bulletin sont originaires de ces pays, et que celui-ci reflète plus ou moins leur expérience dans ce domaine. D'autres pays, qui appliquent également des analyses qualitatives de risques plus élaborées sont l'Afrique du Sud, la Nouvelle-Zélande (en coopération

which take into account functional class of a structure and scope of consequences when a limit state occurs.

A new edition of SNiP *Dam engineering structures – Main provisions of design* has been prepared. It takes into account the requirements of the Federal law *on the safety of dam engineering structures*, which was issued in 1997 and requires analysis and assessment of risk of failure for dam engineering structures.

**Switzerland:** The Swiss dam safety legislation relies on meticulous surveillance and emergency planning. But, other than in Swiss dam safety legislature, there is an interest of Swiss consulting engineering groups to apply risk-based approaches for dam safety evaluation.

**United States, California:** The State of California, USA, Department of Water Resources, is aware of risk assessment and risk assessment techniques, but has decided not to use them:

*We agree that risk-analysis can be an extremely beneficial tool for prioritising dam safety projects. We also believe that it will be useful to demonstrate project priorities to anyone questioning a dam safety program, particularly in the aftermath of a failure.*

*California has one of the oldest and strongest dam safety programs in existence. The use of risk assessment as presented in this bulletin is understood by California dam engineers, and Department of Water Resources officials, yet the choice has been made not to use it as a decision-making tool.*

Some countries with only SBA, but also with more qualitative risk analysis techniques, have a certain classification of the dams from high to very low potential failure consequences, mainly based on size of dam and reservoir, without further risk analysis.

### ***Qualitative Risk Analysis***

The most simple qualitative risk analyses are the “ranking” techniques, which rank a number of dams and prioritise measures for risk reduction. Techniques mentioned are the Hazard Index (Poland – Opyrchal, Hrabowski and Jankowski, 2000), the Global Risk Index (Portugal – Codes of Practice for Dam Design, 1993), Preliminary Risk Exposure Profile (PREP – Canada – Hartford and Stewart, 1999), the Prioritisation Index based on PREP (Sweden – reply to inventory on risk assessment; no explicit reference given), Criticality Index (UK - Hughes *et al.*, 2000) and the Risk-based Scheme (USA – Johnson, 2000).

More detailed qualitative risk analyses like FMEA and FMECA have been used by less than half of the responding countries. Amongst them, with support of papers and reports, are the countries Australia, USA and Canada. It should be noted that the principal authors of this bulletin also belong to these countries and that this bulletin reflects more or less their experience with risk assessment. Other countries, which also use more elaborated qualitative risk analyses are South Africa, New Zealand (in co-operation with Australia), Germany, Poland, Czech Republic,

avec l'Australie), l'Allemagne, la Pologne, la République Tchèque, le Royaume-Uni, la Norvège et la Suède (approche canadienne).

Aucun de ces pays ne remplace la SBA par l'analyse ou l'évaluation des risques. Quelques notes tirées des réponses :

*L'évaluation des risques est appliquée avec précaution, en combinaison avec les approches traditionnelles d'évaluation. Les propriétaires trouvent que l'évaluation des risques apporte une valeur ajoutée grâce à une meilleure connaissance de l'état de sécurité de leurs barrages (Australie).*

*Il est devenu clair récemment que les méthodes basées sur les risques doivent entrer dans un cadre exhaustif de prise de décision, en parallèle avec les pratiques traditionnelles, et beaucoup d'ingénieurs canadiens pensent que les méthodes basées sur les risques ne remplaceront pas les pratiques traditionnelles dans un futur proche, voire éloigné (Canada).*

*L'analyse et l'appréciation des risques sont utilisées en Nouvelle Zélande pour améliorer les prises de décision traditionnelles basées sur les normes. Nous ne pensons pas que les autorités de tutelle puissent accepter une norme numérique comme base de définition pour les risques acceptables ou tolérables (Nouvelle Zélande).*

### **Utilisation de l'analyse ou évaluation des risques pour les barrages en Russie**

*Des procédures d'analyse de risques, l'évaluation quantitative ou qualitative des risques pour les barrages pour déterminer les risques acceptables sont utilisées en Russie depuis 1997 pour la préparation de certificats de sécurité pour les barrages pour lesquels les défaillances ou accidents peuvent engendrer des conséquences extrêmes.*

*Des certificats de sécurité ont été préparés pour pratiquement tous les ouvrages associés à la production énergétique, la moitié étant des installations industrielles, et un quart des ouvrages du Ministère des ressources naturelles. Le processus de certification des ouvrages navigables commence tout juste (Russie).*

### **Commentaires sur les bases scientifiques des approches utilisées**

*Il semble que les approches les plus efficaces soient constituées d'une combinaison d'expertise, de méthodes statistiques et grapho-analytiques pour l'appréciation et l'évaluation des risques. Nous supposons qu'il est nécessaire d'adapter au domaine des barrages des méthodes d'évaluation quantitative et qualitative des risques connues dans d'autres industries. Les caractéristiques spécifiques de la conception, de la construction et de l'exploitation des barrages, et l'unicité de chaque barrage doivent être prises en compte. Il serait également profitable d'effectuer une analyse critique et de systématiser les informations sur les défaillances de barrages de différents types et fonctions (Russie).*

*L'analyse basée sur les risques fournit une base rigoureuse pour une prise de décision cohérente. Elle ne remplace pas les méthodes conventionnelles d'analyse. Elle fournit des informations utiles au décideur qui doit répartir des ressources limitées et équilibrer les risques. Ainsi, les bénéfices justifiables au niveau économique ainsi que l'efficacité de différentes propositions en termes de réduction des risques sont déterminés pour aider le décideur (Afrique du Sud).*

United Kingdom, Norway and Sweden (Canadian approach).

None of these countries use risk analysis or risk assessment as a substitute for SBA. A few notes from the replies:

*Risk assessment is being cautiously applied in conjunction with the traditional approaches to dam safety evaluation. Dam owners find that risk assessment brings added value through an enhanced understanding of the safety status of their dams (Australia).*

*It has also recently become evident that the development of risk-based methods must fit in a comprehensive decision-making framework alongside traditional practices, and many Canadian professionals believe that risk-based methods will not replace traditional practices in the foreseeable future, if ever (Canada).*

*Risk analysis and assessment is being used in New Zealand to enhance traditional standards-based decision-making related to dams. We do not foresee the consenting authorities accepting a numerical standard as a basis of defining tolerable or acceptable risk (New Zealand).*

#### **Use of risk analysis or assessment for dams in Russia**

*Procedures of risk analysis, qualitative and quantitative risk assessment for dam engineering structures and of determining acceptable risks have been used in Russia since 1997 for preparing safety licenses for dams where failures or accidents may lead to extreme consequences.*

*Safety licenses have been prepared for almost all structures associated with energy production, about a half of industrial structures and a quarter of structures of the Ministry of Natural Resources. The process of licensing navigable structures is only just starting (Russia).*

#### **Comments on the scientific basis of the used approaches**

*It seems that the most effective approaches would be the combination of expert, grapho-analytical and statistical methods to risk analysis and assessment. We suppose it is necessary to adjust methods of qualitative and quantitative risk assessment known in other industries to the dam engineering field. Specific features of designing, constructing and operating dams and the uniqueness of each dam should be taken into account. In addition, it would be profitable to critically analyse and systematise information about failures on dams of different types and functions (Russia).*

*Risk-based analysis provides a sound basis for consistent decision-making. It does not replace conventional methods of analyses. It provides useful information to the decision-maker who has to allocate limited resources and balance risks. In this instance the amount justifiable on economic grounds as well as the effectiveness of various proposals in terms of risk reduction are determined to guide the decision-maker (South Africa).*

## **Analyse quantitative des risques**

Seul un nombre limité de pays utilise des analyses quantitatives de risque comme l'analyse de fiabilité utilisant la simulation de Monte-Carlo, la méthode Premier ordre Second moment ou l'Intégration complète. La plupart des pays (Australie, Canada, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud et États-Unis) utilisent ces techniques à des degrés limités et variés ou pour des études détaillées sur la sécurité des barrages. Ils ne mentionnent pas l'utilisation d'approches d'analyse des risques complètement probabilistes. De plus, si ces techniques sont utilisées, c'est toujours par un petit groupe de spécialistes ou de consultants.

La situation aux Pays-Bas est différente. Tout d'abord, les grands barrages retenant des réservoirs ou destinés à l'énergie hydroélectrique n'existent pas dans ce pays plat. Les ouvrages les plus similaires à de grands barrages sont les barrières de protection contre les marées de tempête. Par exemple, la nouvelle barrière de protection de Rotterdam est haute de plus de 20 mètres et longue de plus de 400 mètres, et elle est totalement mobile. Normalement, la barrière est ouverte, mais *doit* être fermée pendant les marées de tempête exceptionnelles. La conception finale de cet ouvrage a été complètement guidée par l'analyse quantitative des risques.

L'évaluation quantitative des risques a été développée à partir de concepts introduits il y a plus de trente ans et la conception probabiliste est bien connue des étudiants en génie civil aux Pays-Bas depuis 1985. La technique d'analyse des risques préférée pour calculer les probabilités de défaillance est la méthode Premier ordre Second moment, mais d'autres techniques sont également utilisées. Les probabilités de défaillance sont calculées, notamment la corrélation entre les paramètres et différents modes de défaillance.

D'autre part, des méthodes plus faciles et plus rapides disponibles pour l'analyse qualitative des risques ont rarement été utilisées aux Pays-Bas.

### **4.3.2. Appréciation des risques**

Les principes de l'appréciation des risques et différents critères de risque ont été décrits dans la sous-section 3.3 de ce bulletin. Dans la situation idéale, les risques acceptables ou tolérables, qui impliquent la protection du public, doivent être déterminés par un processus politique basé sur les valeurs sociétales. Certaines législations le prennent en compte (Pays-Bas) et lorsque ce n'est pas le cas, il existe des exemples d'organismes de régulation (par exemple le HSE du Royaume-Uni), d'organismes professionnels (par exemple ANCOLD), et de propriétaires de barrage (par exemple le *Bureau of Reclamation* des États-Unis) qui prennent l'initiative de proposer des critères de risque.

Parmi les 24 pays pris en compte dans cette section, onze pays présentent leurs vues sur l'appréciation des risques. Parmi ces onze pays, neuf parlent explicitement de critères de risque. Ce sont l'Australie, le Canada, la République Tchèque, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Nouvelle Zélande, l'Afrique du sud, le Royaume-Uni et les États-Unis. Deux autres pays (Norvège et Suède) évoquent des inquiétudes sur l'appréciation des risques, comme le Canada.

## ***Quantitative Risk Analysis***

Only a limited number of countries use quantitative risk analyses like reliability analysis using Monte Carlo Simulation, First Order Second Moment Approaches or Full Integration. Most of the countries (Australia, Canada, New Zealand, South Africa and USA) use the techniques to varying and limited degrees for detailed studies or for studies on details of dam safety. They do not report the use of full probabilistic risk analysis approaches. Moreover, if these techniques are used, it is always by a small group of specialists or consultants.

There is another situation in the Netherlands. Firstly, large dams for reservoirs or hydropower do not exist in this flat country. Structures, which come close to large dams, are storm surge barriers. For example the New Waterway Storm Surge Barrier at Rotterdam is more than 20 m high and 400 m long, and is totally movable. Normally the barrier is open, but *should* be closed during extreme storm surges. The final design of this structure was completely based on quantitative risk analysis.

The quantitative risk assessment was developed from concepts introduced more than thirty years ago and probabilistic design is common knowledge for civil engineering students in the Netherlands, since 1985. The preferred risk analysis technique to calculate failure probabilities is the First Order Second Moment approaches, but also other techniques are used. Failure probabilities are calculated, including correlation between parameters and between different failure modes.

On the other hand, easier and quicker methods, as available for qualitative risk analysis, have hardly been used in the Netherlands.

### **4.3.2. Risk evaluation**

The principles of risk evaluation and various risk criteria have been described in Sub-section 3.3 of this bulletin. In the ideal situation acceptable or tolerable risk, which involves protection of the public, should be determined through the political process based on societal values. Some legislators do this (Netherlands) and when legislators are not taking the lead, there are examples of regulators (e.g. United Kingdom HSE), professional bodies (e.g. ANCOLD), and dam owners (e.g. US *Bureau of Reclamation*) taking the initiative in proposing risk criteria.

From the 24 countries considered in this section, 11 countries show a view on risk evaluation. From these 11 countries, 9 explicitly discuss risk criteria. These are, Australia, Canada, Czech Republic, Germany, the Netherlands, New Zealand, South Africa, United Kingdom and USA. The other two countries (Norway and Sweden) raise concerns on risk evaluation, together with Canada.

Une description complète de l'appréciation des risques pour les Pays-Bas, le Royaume-Uni et les États-Unis, a été rédigée par McGrath (2001b) et nous n'en donnons qu'un court résumé ici.

### **Australie**

Des politiques de risque tolérable pour les barrages en Australie n'ont pas encore été établies par le gouvernement ou par des organismes de régulation. Un organisme de régulation, le *New South Wales Dams Safety Committee*, a indiqué qu'il serait prêt à considérer les résultats de l'évaluation des risques pour la sécurité des barrages, mais n'a pas encore adopté de politique pour la tolérabilité des risques.

Pour d'autres industries, il existe des exemples de politiques de risque tolérable qui ont été établies par la législation ou par des organismes régulateurs gouvernementaux. Dans l'état de Victoria, la Section 304, partie 3 de la Réglementation sur la sécurité et la santé professionnelle (Installations dangereuses) (Gouvernement de Victoria, 2000) mentionne, entre autres dispositions :

*« (1) L'exploitant d'une installation présentant un danger majeur doit adopter des mesures de contrôle qui éliminent, ou, s'il n'est pas possible de l'éliminer, réduisent autant que possible, le risque pour la santé et la sécurité ».*

Cette prescription est interprétée par ANCOLD de la manière suivante : cette réglementation considère le principe ALARP comme une politique de risque tolérable pour les industries dangereuses dans l'état de Victoria, quoique l'on puisse noter que la réglementation omet l'adjectif qualificatif « raisonnable ».

Dans l'état de Nouvelle Galles du Sud, l'organisme régulateur pour l'utilisation des sols (*PlanningNSW*, autrefois *Department of Urban Affairs and Planning*, et encore auparavant, *Department of Planning*) a établi des limites à la tolérabilité des risques pour la vie des individus (*Department of Planning*, 1992). Ces critères ont récemment été à nouveau adoptés par l'organisme de régulation (*PlanningNSW*, 2002).

ANCOLD a proposé des critères pour la tolérabilité des risques affectant les personnes dans le guide de 1994 sur l'évaluation des risques, et les a modifiés en 1998 (*Position Paper on Revised Criteria for Acceptable Risk to Life*). L'intention actuelle est d'inclure des propositions sur les risques tolérables pour la sécurité des personnes dans le guide mis à jour sur l'évaluation des risques, en cours de préparation. Certains grands propriétaires de barrage sont en train de fixer des critères pour la tolérabilité des risques financiers, en accord avec leur perception des pertes qu'ils sont capables d'absorber si le risque se réalise.

### **Canada**

*Au sein même du Canada, il existe des opinions variées et parfois contraires sur les valeurs, méthodes, et utilisations de l'analyse des risques dans le domaine de la sécurité des barrages. C'est pourquoi il paraît difficile de présenter une perspective canadienne unifiée. En général, l'analyse et l'évaluation des risques ne sont pas mises en pratique au Canada, tout du moins avec une ampleur comparable avec des pratiques de sécurité plus traditionnelles. Les activités d'analyse des risques tendent à*

An extensive description of risk evaluation for the Netherlands, United Kingdom and USA has been given in McGrath (2001b) and only a short summary is given here.

### **Australia**

Tolerable risk policies for dams in Australia have not been established by government or by regulatory agencies up to the present time. One regulator, the New South Wales Dams Safety Committee, has indicated that it will be prepared to consider the results of risk assessments in considering the safety of dams, but has not yet endorsed any policies on the tolerability of risk.

For other industries, there are some examples of tolerable risk policies, which have been established by legislation or by government regulatory agencies. In the state of Victoria, Section 304, Part 3 of the Occupational Health and Safety (Major Hazard Facilities) Regulations (Government of Victoria, 2000) states, among other provisions:

*“(1) The operator of a major hazard facility must adopt control measures which eliminate or, if it is not practicable to eliminate, which reduce so far as is practicable, risk to health and safety”.*

That requirement is interpreted by ANCOLD to mean that the Regulation effectively establishes the ALARP (As Low As Reasonably Practicable) principle as the tolerable risk policy for hazardous industries in Victoria, though it should be noted that the regulation omits the qualifying term “reasonably”.

In the state of New South Wales, the regulator for land use planning (*Planning NSW*, previously the *Department of Urban Affairs and Planning*, and earlier still, the *Department of Planning*) established limits to the tolerability of individual life safety risks (*Department of Planning*, 1992). These criteria have recently been re-endorsed by the regulator (*Planning NSW*, 2002).

ANCOLD proposed criteria for tolerability of life safety risks in the 1994 Guidelines on Risk Assessment, and has since modified those in the 1998 *Position Paper on Revised Criteria for Acceptable Risk to Life*. The present intention is to include proposals on tolerable life safety risks in updated guidelines on risk assessment, now being prepared. Some major dam owners are setting criteria for the tolerability of financial risks according to their perceived ability to absorb losses in the event the risks are realized.

### **Canada**

*Within Canada there are diverse and strong contrary opinions on the value, methods, and use of risk analysis for dam safety practice. As such it remains challenging to report a single Canadian perspective. In general, risk analysis and risk assessment is not practiced in Canada to any significant extent when compared against more traditional dam safety practices. Risk analysis activity tends to be restricted to “experimental” investigations by the major hydroelectric dam owners, and to non-life*

se restreindre à des recherches «expérimentales» effectuées par les principaux propriétaires de barrages hydroélectriques, et pour des problèmes ne concernant pas la sécurité des personnes par des propriétaires de barrages de stériles et par leurs consultants.

*Il est généralement reconnu que des critères de risque acceptés pour les barrages n'existent pas au Canada, et même que la quantification de la probabilité de défaillance, et donc des risques, n'est pas réellement possible d'une manière efficace pour des décisions se rapportant à d'éventuelles catastrophes.*

*Une des pratiques apparemment utilisées à l'heure actuelle, et mentionnées dans la littérature de quelques autres pays, ne fait pas partie des bonnes pratiques reconnues ou faisant autorité au Canada : il s'agit de l'évaluation des risques concernant les barrages en utilisant « des probabilités subjectives » recueillies auprès des ingénieurs en transformant des descriptions verbales de leur « estimation de vraisemblance » en des valeurs numériques à l'aide de « Kent Charts » ou d'autres techniques. Cette conclusion, tirée par certains professionnels reconnus au Canada, n'est pas le résultat de l'ignorance de cette pratique, mais plutôt d'un examen attentif des pièges d'une telle approche. C'est pourquoi actuellement, aucun propriétaire de barrage ni organisme de régulation canadien n'a exprimé une confiance suffisante dans la validité scientifique, ou robustesse, de probabilités quantifiées à partir du jugement pour prendre des décisions concernant la sécurité des personnes.*

*Il est également important pour ce bulletin de ne pas seulement mentionner les activités actuelles d'évaluation des risques, mais aussi certaines activités ayant été abandonnées (ou simplement qui ne seront pas utilisées) par des propriétaires ou des professionnels bien informés dans le monde entier, en expliquant les raisons. En voici trois exemples :*

- *L'abandon des critères de risque tolérable pour la sécurité des personnes par BC Hydro en 1997, bien qu'ils soient cités à tort dans la littérature internationale.*
- *L'utilisation de statistiques (nécessairement limitées) sur les renards de barrages en remblai pour une population de barrages, pour en tirer la probabilité de défaillance d'un barrage individuel.*
- *L'utilisation de probabilités subjectives avec des arbres d'événements.*

*Cette approche devrait aider à stimuler la discussion nécessaire et à orienter les recherches futures. Elle devrait permettre également d'éviter des biais dangereux au sein d'un document de discussion, qui ne peut malheureusement pas aujourd'hui représenter une bonne pratique faisant autorité, puisque celle-ci n'existe pas.*

La citation ci-dessus, tirée de la réponse canadienne, va un peu au-delà de l'appréciation des risques, sujet de cette sous-section, mais elle est mentionnée pour transmettre avec précision les vues du Canada. Cette citation est également une réponse à l'invitation à commenter la validité scientifique des stratégies d'évaluation des risques utilisées aujourd'hui.

## **République Tchèque**

Les barrages de la République tchèque sont classés en quatre catégories selon l'évaluation des risques. Cette classification est basée tout d'abord sur toutes les conséquences potentielles de l'existence du barrage (évaluation des risques

*safety issues by tailings dam owners and their consultants.*

*It is generally recognized that accepted tolerable life safety criteria for dams do not exist in Canada, and further that the quantification of probability of failure, and therefore quantified risk, is not readily achievable in a defensible manner for catastrophic loss type dam safety decisions.*

*The apparent contemporary practice, reported in the literature from a few other countries, of estimating risks posed by dams using “judgemental probabilities” obtained from engineers by translating verbal descriptors of their “judgements of likelihoods” to numerical values using “Kent Charts” or some other means does not form part of recognized or authoritative good practice in Canadian dam safety practice. This conclusion by some knowledgeable practitioners in Canada is not a result of ignorance of the practice, rather a result of careful deliberations on the pitfalls of such an approach. Therefore at this time no Canadian dam owner, nor regulator, has expressed sufficient confidence in the scientific validity, or robustness, of judgemental quantified probabilities to make life safety decisions using these techniques.*

*It is equally important that the bulletin not only report on current activities in risk assessment, but also on certain risk assessment activities which have been abandoned (and/or simply will not be used) by knowledgeable owners or professionals around the world with a good description of the reasons why. Three examples might be:*

- *the abandonment of tolerable life safety criteria by BC Hydro in 1997, although they are still erroneously widely quoted internationally;*
- *the use of necessarily limited embankment dam piping statistics from a population of dams to derive the probability of failure of an individual dam;*
- *the use of subjective probabilities within event trees.*

*This approach should help to stimulate the required discussion, focus future research and scientific investigation, and may help avoid an inadvertent and dangerous bias in such an important discussion document which unfortunately cannot at this time represent an authoritative good practice since it does not exist.*

The above quote from the Canadian response goes some way beyond risk evaluation, which is the topic of this sub-section, but is given in full to accurately convey the view of Canada. This quotation is also a response to the invitation to comment on the scientific validity of the risk assessment approaches in use.

## **Czech Republic**

Dams in the Czech Republic are divided according to risk assessment into four categories. The dam categorization is based first of all on the potential consequences of the existence of the dam (“primary” risk assessment). The “secondary” risk

« primaires »). L'évaluation des risques « secondaires » comprend également l'état technique réel ou les conditions locales, mais ces facteurs ne sont pas pris en compte pour la classification des barrages. Selon le comité national, cette attitude est la plus objective et la plus correcte pour l'évaluation des risques.

Dans le système d'analyse des risques et d'appréciation des risques, un facteur d'évaluation des risques a été introduit. Ce facteur est basé sur le nombre de pertes de vies humaines, l'ampleur des destructions de biens, l'arrêt des installations en aval, les dommages concernant directement le corps du barrage (ce sont les risques directs), les pertes de bénéfice dues à l'interruption de l'exploitation du barrage et aux dommages environnementaux (ce sont des dommages indirects). Il est nécessaire de connaître les effets de la vague de crue de rupture en aval pour la quantification du facteur d'évaluation des risques. L'intensité de cette vague de crue de rupture dépend de la taille de la brèche ouverte dans le barrage. Des méthodes simples pour la détermination de la taille de ces brèches pour différents types de barrage sont utilisées en République tchèque.

### **Allemagne**

L'évaluation des risques pour les barrages dans son acceptation réelle n'a pas une longue tradition en Allemagne y compris l'ex-Allemagne de l'Est. L'opinion publique, ainsi que les professionnels et les hommes politiques étant de plus en plus avertis des risques et dangers environnementaux, on observe dans le pays un traitement de plus en plus transparent des risques liés aux barrages. Actuellement, le terme « risque » n'apparaît pas dans les normes techniques allemandes concernant les barrages, mais il est proposé d'identifier les problèmes liés au risque lors de la révision actuelle de ces normes, et de donner des recommandations pour la gestion des risques.

La nouvelle édition (provisoire) des normes techniques allemandes E DIN 19700-10/11 pour les barrages est basée sur un concept qui offre une sécurité maximale, tout en mentionnant les dangers résiduels, pour pouvoir les estimer et les atténuer. Ce sont donc des considérations semi-quantitatives qui sont appliquées.

Cette nouvelle approche prend particulièrement en compte les dangers et risques associés aux crues exceptionnelles, séismes exceptionnels, les caractéristiques matérielles, les incertitudes de capacité des ouvrages soumis aux contraintes, et les défaillances des installations structurelles ou techniques associées à ces ouvrages.

Les nouvelles normes comprennent des nouveautés concernant la prévision des crues dans la conception pour prouver la stabilité structurelle. Les normes traitent le problème des dangers potentiels et envisagent une évaluation complémentaire des risques. Elles ne donnent pas d'instructions spécifiques concernant des méthodes concrètes d'évaluation des risques. La fonction de réduction des risques assurée par l'auscultation des barrages est mentionnée séparément.

L'article présenté par Sieber (2000) décrit la philosophie et la mise en place de nouvelles normes. Il comprend des organigrammes concernant :

- La philosophie de sécurité pour les barrages ;
- La conception d'épreuves de sécurité pour les barrages ;
- Les preuves de stabilité structurelle pour les barrages ;
- Les processus de gestion des risques.

assessment includes also the actual technical state or local conditions, but these factors are not considered for the dam categorization. In the opinion of the national committee, this attitude is the most objective and correct for risk assessment.

In the Risk Analysis and Risk Evaluation system a Risk Assessment Factor has been introduced. This factor has been based on the number of lives lost, the range of property losses, the interruption of infrastructure downstream, the damages directly on the dam body (these are direct losses); losses of profits owing to an interruption of dam operation and range of environmental damages (these are indirect damages). It is necessary to know the effect of the dam-break wave downstream for quantification of the Risk Assessment Factor. Intensity of this dam-break wave depends on the size of the dam-break opening at the dam body. Simple methods for a determination of dam-break opening sizes for various types of dams are used in the Czech Republic.

## **Germany**

Risk assessment for dams in its real sense does not have a long tradition in Germany, including the former East Germany (GDR). With the generally increasing sensitivity of the people, as well as professionals and politicians, towards environmental hazards and risks, a more transparent treatment of risks connected to dams is gaining acceptance in this country. Whereas the term “risk” was excluded from the existing German technical standards for dams, it is now proposed to identify the risk problem within the scope of the current revision of these standards and to give recommendations for risk management.

The (draft) revised German technical standards E DIN 19700-10/11 for dams pursue a concept, which offers maximal safety, but additionally discloses the remaining hazards and requires the assessment and mitigation of the resulting risks. Thereby semi-quantitative considerations are applied.

The normal approach particularly considers hazards and resulting risks as a result of rare floods, rare earthquakes, material characteristics, and uncertainties in capacity within the load-bearing structure and failure of structural or technical installations with relevance to the load-bearing structure.

The revised standards particularly contain innovations concerning flood design and design case regulation for proofs of structural stability. The standards address the problem of hazard potential and point to complementary risk assessment. No specific instructions are given for the actual risk assessment methodologies. The risk-reducing function of dam monitoring is separately stressed.

The paper by Sieber (2000) describes most of the philosophy and set-up of the new standards. It includes flow charts of:

- philosophy of dam safety;
- conception of safety proofs for dams;
- proofs of structural stability of dams;
- risk management process.

Les références à l'évaluation des risques dans le texte de E DIN 19700-10/11 concernant les risques associés aux crues sont :

- Les risques résiduels provoqués par des crues dépassant la crue de projet, ou le niveau maximal de projet, doivent être estimés. Si cela est nécessaire, des mesures supplémentaires d'ordre structurel, opérationnel, et/ou administratif doivent être prises pour atténuer ce risque.
- La dimension de la revanche de sécurité du barrage doit être déterminée en considérant les capacités de déversement du barrage, l'existence d'évacuateurs d'urgence, et le potentiel de danger (conséquence d'une défaillance) du barrage. La probabilité d'un déversement dangereux doit être atténuée par cette revanche de sécurité sur le barrage.

Quelques aspects nouveaux en rapport avec les normes actuelles :

- Mention des risques subsistants malgré une conception adéquate ;
- Prise en compte, au moins indirectement, des risques résiduels après les mesures d'atténuation ;
- Atténuation des risques au lieu des les exclure ;
- Référence à une possibilité éventuelle de planification d'urgence.

### **Pays-Bas**

Aux Pays-Bas, le Ministère du logement, de la planification physique et de l'environnement a fixé des critères de risque pour les installations dangereuses, les voies de transport et les aéroports (Ministère du logement, de la planification physique et de l'environnement, Pays-Bas, 1989). Il faut noter que ces critères ont été développés en dehors du domaine des barrages et des digues, et sont plus ou moins comparables à l'approche du Royaume-Uni.

Ale (2002) présente un article résumant *les pratiques d'évaluation des risques aux Pays-Bas*. Le document expose une étude du développement historique et de l'état actuel de la gestion des risques pour les principales installations dangereuses et le transport de matériaux dangereux aux Pays-Bas :

*La définition des risques sous forme de probabilité ne s'adapterait pas au contexte néerlandais. De plus, ce serait illogique car un risque a deux composantes :*

- *Étendue des dommages ; et*
- *Probabilité d'occurrence de ce dommage.*

Pour la quantification des risques dans le contexte de la politique de sécurité aux Pays-Bas, trois mesures du risque sont utilisées : le risque individuel, le risque sociétal et la valeur prévue du nombre de personnes tuées chaque année (pertes humaines potentielles).

L'appréciation des risques est décrite dans la sous-section 5.5 de Ale *Comparaison des risques et prise de décision* :

Pour les risques individuels, le haut de fourchette de l'acceptabilité pour de nouvelles situations ou de nouveaux développements a été fixé à 10<sup>-6</sup>/année pour les installations et pour le transport de matériaux dangereux. Dans les situations

References to risk assessment in the text of E DIN 19700-10/11 with respect to risks associated with floods are:

- Remaining risks in connection with dam safety due to events exceeding the design flood, or the designed maximum water level, are to be assessed. If necessary, additional structural, operating, and/or administrative measures are to be taken in order to mitigate risk sufficiently;
- The size of the prescribed safety part of the freeboard of a dam is to be designed having regard to the overtopping capacity of the dam, to the existence of emergency spillways and to the hazard potential (failure consequences) of the dam. The likelihood of a dangerous overflow of the dam is to be mitigated sufficiently by means of this safety part of the freeboard.

Statements include the following new aspects in comparison with the current standards:

- Remaining risk in spite of correct design is mentioned;
- Remaining residual risk in spite of risk mitigation measures is assumed (at least indirectly);
- Risk mitigation instead of excluding risk;
- Reference to possible necessity of emergency planning.

### **Netherlands**

In the Netherlands the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment has set risk criteria for hazardous installations, transport routes and airports (Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1989). Note that these criteria were developed outside the working area of dikes and dams, and are more or less comparable with the approach in the United Kingdom.

A summary paper on *Risk Assessment Practices in the Netherlands* is given by Ale (2002). It is a document that serves to give a survey of the historical development and the present status of the management of the risks of major hazard installations and the transport of dangerous materials in the Netherlands. From Ale (2002):

*The definition of risk as a likelihood would not fit the Dutch context. Moreover it is illogical as risk has two components:*

- *Extent of the damages; and*
- *The probability or likelihood that such damage will occur.*

In the quantification of risk in the context of the external safety policy in the Netherlands three measures of risk are used: the individual risk, the societal risk and the expectation value of the number of people killed per year (potential loss of life).

Risk evaluation is described in Ale's Sub-section 5.5 *Risk comparison and decision-making*:

For individual risk an upper acceptability in new situations or new developments of  $10^{-6}$ /year holds for establishments and for the transport of dangerous materials. In existing situations, a sanitation limit of  $10^{-5}$ /year is upheld.

existantes, on conserve une limite de  $10^{-5}$ /année. Pour l'aéroport de Schiphol, ces limites sont respectivement de  $10^{-5}$ /année et  $5 \times 10^{-5}$ /année. Ces limites sont en cours de discussion et peuvent évoluer.

Pour les risques sociétaux, la limite conseillée est donnée pour les installations et pour le transport par une courbe F-N. Pour le transport aérien et pour d'autres sources de risque, aucune limite n'a été fixée.

### **Nouvelle-Zélande**

Un article du magazine du Ministre de la protection civile, *Tephra* (1996) présente les efforts du gouvernement de Nouvelle-Zélande pour promouvoir les techniques de gestion des risques dans le cadre des catastrophes naturelles ou des accidents technologiques. L'article note qu' « *actuellement, il n'y a pas de normes absolues disponibles pour les risques acceptables, et il existe une forte opposition dans certains milieux à l'idée que de telles normes puissent être développées et utilisées* ».

L'article se réfère aux informations de risque tolérable exposées par le Health and Safety Executive (HSE, 1992), ainsi qu'au principe ALARP. L'article conclut « *le message du gouvernement est clair. Les personnes responsables de la sécurité publique et de la gestion des infrastructures en Nouvelle-Zélande sont obligées d'assumer la totale responsabilité de la gestion des risques... Le rôle des autorités locales ou des propriétaires est d'assurer la responsabilité d'équilibre des coûts, des risques et des bénéfices dans l'intérêt des collectivités* ».

Selon la norme australienne et néo-zélandaise AS/NZS 4360 (1999) : Notes de gestion des risques « *les décisions concernant l'acceptabilité des risques et leur traitement peuvent être basées sur des critères opérationnels, techniques, financiers, sociaux, humanitaires ou autres. Ceux-ci dépendent souvent de la politique de l'organisation, de ses objectifs et des intérêts des parties intéressées. Ces critères peuvent être affectés par des perceptions internes et externes et par les conditions requises légalement* ».

Pour l'estimation des options de traitement de risque, la même norme note : « *lorsque des réductions importantes de risque peuvent être obtenues avec des dépenses relativement faibles, ces options doivent être mises en œuvre. D'autres options d'amélioration peuvent se révéler non rentables et il est nécessaire de les évaluer pour savoir si elles sont justifiables. Les décisions doivent prendre en compte le besoin de considérer soigneusement les risques rares mais très graves, qui peuvent justifier des mesures de réduction malgré leur absence de rentabilité. En général, les impacts des risques doivent être maintenus aussi faibles que possible, quel que soit le critère absolu* ».

### **Norvège (McGrath, 2001b)**

De nombreuses analyses ont été effectuées pour les barrages mais l'analyse des risques n'est pas couramment utilisée pour la surveillance des barrages en Norvège. Le nombre de propriétaires de barrage effectuant des analyses de risque est relativement faible. La plupart des analyses de risque se penchent sur les probabilités de rupture de barrage, et bien qu'un modèle ait été développé pour l'estimation des conséquences, il semble que la profession se concentre sur l'estimation des probabilités de rupture avant de passer aux estimations détaillées des conséquences et au développement de critères de risque.

For Schiphol airport, these limits are  $10^{-5}$ /year and  $5 \times 10^{-5}$ /year, respectively. These last limits are under discussion and thus subject to change.

For societal risk, an advisory limit is given for establishments and transport through a F-N curve. For air transport and other sources of risk, no limit has been set.

### **New Zealand**

An article in the Ministry of Civil Defence magazine Tephra (1996) has outlined the New Zealand Government's efforts to promote risk management techniques in dealing with natural disasters and with emergencies stemming from technological accidents. The article noted that *"at this stage there are no absolute standards available on acceptable risk, and there is strong opposition in some quarters to the idea of such standards being developed and regulated"*.

The article drew reference to tolerable risk information from the Health and Safety Executive (HSE, 1992) and noted the ALARP principle. The article concluded, *"The message from the Government is clear. Those responsible for public safety and for managing infrastructural assets in New Zealand are obliged to assume full responsibility of managing the risks... It is up to the local authorities or asset owner to take responsibility for balancing the costs, risks and benefits in the best interests of the communities they serve"*.

The Australian and New Zealand Standard AS/NZS 4360 (1999): Risk Management notes *"decisions concerning risk acceptability and risk treatment may be based on operational, technical, financial, legal, social, humanitarian and other criteria. These often depend on an organization's policy, goals, objectives and interests of stakeholders. Criteria may be affected by internal and external perceptions and legal requirements"*.

In assessing risk treatment options the same standard notes: *"where large reductions in risk may be obtained with relatively low expenditure, such options should be implemented. Further options for improvement may be uneconomic and judgement needs to be exercised as to whether they are justifiable. Decisions should take account of the need to carefully consider rare but severe risks, which may warrant risk reduction measures that are not justified on economic grounds. In general the adverse impacts of risks should be made as low as reasonably practicable, irrespective of any absolute criteria"*.

### **Norway (from McGrath, 2001b)**

Several analyses for dams have been undertaken but it has not become common practice to use risk analyses within dam safety management in Norway. The number of dam owners performing risk analyses is relatively low. Most risk analyses have focussed on the dam failure probabilities and although a model has been developed for estimating consequences, it appears that the profession is concentrating on refining the assessment of failure probabilities prior to moving to detailed consequence assessments and developing risk criteria.

Le Dr K. Høeg (ancien Président de la CIGB) a présenté certaines considérations liées à l'utilisation de l'analyse des risques. Il remarque que les nouvelles réglementations de performances actuellement développées en Norvège « mentionnent que les solutions alternatives sont acceptables dans la mesure où les analyses montrent que les niveaux de risque résultants ne sont pas plus élevés que ceux acceptés par les réglementations ».

Le Dr Høeg considère également que « le principal objectif d'une analyse de risque est d'apporter une aide à la décision » et « l'analyse des risques fournit un cadre pour une application systématique du jugement technique et des statistiques disponibles pour la prise de décision ». Il pense que les facteurs de sécurité ne fournissent pas un niveau transparent de sécurité, et que les analyses probabilistes de risque peuvent aider à présenter les incertitudes. Il est vrai qu'un mode de défaillance peut-être oublié dans l'analyse, mais ceci peut également arriver avec des solutions déterministes. Il est important d'« améliorer notre compréhension du comportement du barrage et de sa fondation, des mécanismes de défaillance, de toujours progresser, et améliorer l'assurance qualité et le contrôle ».

Le Dr Høeg mentionne également que l'utilisation du concept de risque acceptable (critères de risque) est controversée.

### **Russie**

Il n'existe pas de politique de tolérance des risques approuvée par l'état, les autorités de contrôle, ou proposée par les organisations professionnelles en Russie, bien que la loi « sur la sécurité des barrages » mentionne que des niveaux de risque acceptable de rupture doivent être précisés par des codes d'application. Des études pour justifier des niveaux de risque acceptable de rupture pour des barrages de différents types sont en cours. En attendant que des codes soient rédigés, des valeurs de risque généralisé d'occurrence d'états limites pour les barrages, obtenues sur la base de l'analyse des codes de construction, sont utilisées comme valeurs de risque acceptable.

### **Afrique du sud**

L'utilisation de l'analyse de risque et de la gestion de risque dans la République d'Afrique du Sud a commencé en 1985. Pour fournir des guides à l'attention des décideurs concernant l'acceptabilité des risques, un graphique représentant le niveau de risque a été élaboré. La ligne partageant le graphique correspond au niveau de risque accepté volontairement en Afrique du Sud et a été déterminée à partir des statistiques d'accident de construction et de tous les moyens de transport dans ce pays.

Ce graphique des impacts et niveaux de risque comprend :

- La population menacée ;
- L'impact social ;
- L'impact financier ;
- L'impact socio-économique ;
- L'impact environnemental ;
- Le niveau de risque.

La communication du congrès de Pékin (Osthuisen, 2000) décrit cette procédure avec plus de détails.

Dr. K. Høeg (past President of ICOLD) put forward some considerations relating to the use of risk analysis. He pointed out that the new performance regulations being developed in Norway “state that alternative solutions are acceptable as long as analyses show that the resulting risk level is no higher than that implied by the regulations.”

Dr. Høeg also considered that “*The main purpose of carrying out a risk analysis is to provide decision support*” and “*Risk analysis provides a framework for systematic application of engineering judgement and available statistics in decision-making*”. He believes that factors of safety do not provide a transparent level of safety and that probabilistic risk analyses can assist in exposing uncertainties. Even though a failure mode may be missed in analysis, this can also occur with deterministic solutions. The key is to “*improve our understanding of dam/foundation behaviour and failure mechanisms, resist complacency, and improve quality assurance and control.*”

Dr Høeg also states that the use of the concept of acceptable risk (risk criteria) is controversial.

### **Russia**

There are no risk tolerance policies approved by the state, supervising authorities or proposed by professional bodies in Russia, although the law “On the safety of dam engineering structures” states that levels of permissible risk of failure should be determined in corresponding codes. Studies on justifying levels of permissible risk of failure for dam engineering structures of different types are being performed. Until codes are issued, values of generalised risk of occurrence of limit states for dams obtained on the basis of analysing construction codes are used as permissible risk values.

### **South Africa**

The use of risk analysis and risk management in the Republic of South Africa started from 1985. In order to provide guidelines to the decision-makers on the acceptability of the risk, a graph representing the risk level was compiled. The dividing line on the graph corresponds with the level of risk accepted voluntarily in South Africa and has been determined from the statistics of construction accidents as well as those of all modes of transport in South Africa.

The impact and risk levels graph includes:

- population at risk;
- social impact;
- financial impact;
- socio-economic impact;
- environmental impact;
- risk level.

The Beijing paper Oosthuizen (2000) describes the procedure in more detail.

## Suède

Il est prévu que l'analyse des risques soit utilisée en Suède, dans un avenir immédiat, sans quantification détaillée des risques. Il n'existe pas de courbes F-N acceptées de « critère d'acceptation de risques » pour les barrages. Actuellement, on considère qu'il n'est pas possible d'étiqueter un barrage comme étant « assez sûr » en utilisant des évaluations de risque quantitatives pour des modes de défaillance de type érosion interne et de comparer les résultats avec des critères d'acceptation possible.

Au lieu de calculer des probabilités et d'appliquer de courbes de type F-N, des indices de criticité sont estimés pour la défaillance fonctionnelle des composants. Au cours du processus de gestion de risque qui suit l'analyse des risques, le propriétaire prend une décision, à partir de la nature et de l'ampleur des criticités déterminées, concernant le niveau à partir duquel le barrage doit être rénové pour une meilleure sécurité, ceci étant nécessaire ou souhaitable suivant les principes ALARP.

## Royaume-Uni (McGrath, 2001b et ANCOLD, 2002)

Au Royaume-Uni, il est nécessaire de prendre en compte les activités du *Health and Safety Executive* (HSE). Le HSE conseille et assiste la commission de santé et sécurité pour l'administration de la loi sur la santé et la sécurité au travail de 1974. Le HSE n'a actuellement qu'un rôle mineur dans la sécurité des barrages, mais son travail sur un cadre de tolérabilité des risques pour les industries dangereuses présente des informations utiles. Dans le domaine des barrages également, certains professionnels considèrent que le HSE pourra jouer un rôle plus important dans le futur en ce qui concerne la sécurité, ou que le cadre de tolérabilité des risques peut être utilisé comme une norme pour estimer la responsabilité des propriétaires de barrages en cas de rupture de barrage ou d'incidents majeurs.

En 1988, le HSE a publié le document « La tolérabilité des risques pour les centrales nucléaires » (HSE, 1988). Le document fixe un cadre pour la sécurité publique connu depuis sous le nom de cadre TOR (*Tolerability of Risk*). Il décrit la philosophie du HSE pour le contrôle des risques des centrales nucléaires. Le HSE considère que ce cadre répond au besoin de dépasser l'ancien manichéisme présentant une installation comme sûre ou non sûre. Le HSE a rédigé une nouvelle version de ce document (HSE, 1992) après consultation du public, et pense que la philosophie sous-jacente est de plus en plus acceptée par d'autres organismes de régulation et par l'industrie, pour une utilisation allant au-delà des centrales nucléaires.

Depuis, ce cadre a été étendu pour fournir une base réglementaire pour toutes les installations dangereuses et pour la planification urbaine, et s'est progressivement développé au fur et à mesure des expériences.

En 1999, le HSE a publié *Réduire les risques, protéger la population* (connu sous le nom de R2P2) comme document préliminaire, en fixant un cadre général de prise de décision et de tolérabilité des risques qui serait utilisé par le HSE dans son rôle réglementaire (HSE, 1999a). Ce document a été largement diffusé et publié sur le site Web du HSE. Plus de 150 synthèses ont été reçues, et le site Web a été consulté plus de 10 000 fois. Après prise en compte de ses commentaires, le document final a été publié (HSE, 2001). La dernière version de R2P2 dépasse le cadre de la

## Sweden

It is expected that risk analyses will be used in Sweden, in the immediate future, without a detailed quantification of the risks. In Sweden there are not any accepted F/N-curves of “risk acceptance criteria” for dams. At the present stage, it is the opinion that it is not possible to “sign off” a dam to be “safe enough” by using quantitative risk assessments for failure modes such as internal erosion and to compare the results with possible acceptance criteria.

Instead of calculated probabilities and the application of F/N-curves, criticality indices are assessed for functional failure of components. In the risk management process which follows the risk analysis, the owner decides from the nature and magnitude of the determined criticalities which level shall be used if upgrading the dam to a higher safety is required, or is desirable as determined by using the ALARP principle.

## United Kingdom (from McGrath, 2001b and ANCOLD, 2002)

In the UK it is worthwhile considering the activities of the *Health and Safety Executive* (HSE). The HSE advises and assists the Health and Safety Commission in the administration of the Health and Safety at Work Act 1974. Whilst HSE currently has only a minor role in dam safety, their development of a tolerability of risk framework for hazardous industries is useful information. Also, within the dams industry, some practitioners consider that the HSE may take a greater future role in relation to dam safety, or that the tolerability of risk framework may be used as a standard against which to judge dam owners in the event of a dam failure or serious incident.

In 1988, the HSE published the document ‘The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations.’ (HSE, 1988) The document set out a framework for public safety that has since become known as the Tolerability of Risk (TOR) framework. It describes HSE’s philosophy of risk control for nuclear power stations. The HSE considers that the framework addressed the need to move from the old division that things were either safe or not safe. The document was re-issued (HSE, 1992) following public consultation, and the HSE believes that the underlying philosophy has since gained considerable acceptance by other regulators and industry as having wider applicability beyond nuclear power.

Since that time, the framework has been extended to provide a basis for regulation of all hazardous facilities and land use planning, and has been further developed as experience was gained in its application.

In 1999, HSE published *Reducing Risks, Protecting People* (commonly known as R2P2) as a discussion document, setting out the generic decision-making and tolerability of risk framework then being followed by HSE in its regulatory functions (HSE, 1999a). The document was widely disseminated and was posted on the HSE web site. Over 150 consolidated submissions were received and there were some 10,000 hits on the web site. Following consideration of the comments, the final document was published (HSE, 2001). The now published R2P2 goes beyond the

tolérabilité des risques pour inclure les processus de décision en gestion des risques suivis par le HSE dans son rôle réglementaire.

ANCOLD (2002) considère R2P2 comme une source de bonnes pratiques faisant autorité, du fait :

- Des enquêtes publiques qui ont permis le développement de ce cadre ;
- De la large diffusion et des commentaires à tous les niveaux de la société britannique sur une période de treize ans ;
- De la longue expérience du HSE dans l'utilisation de ce cadre.

### **États-Unis**

L'attitude face à l'utilisation de l'évaluation des risques varie largement, depuis l'absence d'utilisation formelle jusqu'à l'adoption en tant que processus normal pour la sécurité des barrages. Toutefois, l'évaluation des risques est certainement à l'ordre du jour, et l'objet de discussions dans tout le pays. Actuellement, le '*Bureau of Reclamation*', les États de Washington et Montana, sont les seuls utilisateurs des techniques d'analyse de risque intégrées dans les programmes de sécurité des barrages.

Le *Bureau of Reclamation des États-Unis* a précisé ses objectifs pour la sécurité des barrages comme suit :

*L'objectif du programme de sécurité des barrages est d'assurer que les ouvrages ne présentent pas des risques inacceptables pour la sécurité des personnes et des biens. Ceci demande d'identifier les ouvrages qui présentent des risques inacceptables et de mettre en œuvre des actions pour réduire ou éliminer ces risques d'une manière efficace et rentable. La politique correspondante consiste à construire des ouvrages sûrs, ce qui n'implique d'ailleurs pas l'absence totale de risques. Un barrage sûr est un barrage qui remplit ses fonctions sans imposer de risques inacceptables à la population par sa seule présence.*

Le terme « risques inacceptables » suppose qu'il existe des textes de référence utilisés pour déterminer si les risques sont inacceptables. C'est effectivement le cas et l'USBR utilise un système de textes de référence à deux niveaux pour la sécurité publique, permettant d'évaluer les risques estimés (*US Bureau of Reclamation*, 1997 et 2003).

L'*US Army Corps of Engineers* rédige actuellement un document de base sur les risques tolérables pour les personnes. L'agence, responsable de près de 600 barrages aux États-Unis, est en train de mettre en œuvre une évaluation des risques pour chaque barrage au sein d'un ensemble dans le district, dans le cadre d'une démonstration effectuée au sein d'un programme de recherche et de développement. Les risques économiques sont évalués à partir de modèles de simulation examinant des alternatives au projet proposé, et les flux de financement calculés sur une période de cinquante ans. La performance du projet est modélisée en utilisant une analyse de fiabilité, et les rapports bénéfice / coût sont évalués pour chaque option.

Johnson (2000) décrit les pratiques *dans l'État de Washington*. Le « processus de conception graduée » présente une approche d'appréciation des risques. Les extraits qui suivent sont tirés de Johnson (2000).

tolerability of risk framework to include the risk management decision processes followed by HSE in its regulatory function.

ANCOLD (2002) regards R2P2 as an authoritative source of good practice, in view of:

- The public inquiries that gave rise to the development of the framework;
- The wide publication and comment on the framework, at all levels of British society, over the 13 year period;
- The long experience of HSE in applying the framework.

## USA

Attitudes to the use of risk assessment vary widely from no formal use whatsoever to adoption as a normal dam safety process. However, risk assessment is certainly on the agenda, and the subject of discussion throughout the country. At the moment, the Bureau of Reclamation, Washington and Montana States are the only users of risk analysis techniques as an integral part of a dam safety program.

The **US Bureau of Reclamation** has refined its dam safety goal as follows:

*The objective of the Safety of Dams Program is to ensure that Reclamation structures do not present unacceptable risks to public safety, property, and welfare. This requires identifying structures which pose unacceptable risks and taking corrective actions to reduce or eliminate these risks in an efficient and cost effective manner. Reclamation policy is to provide safe structures, but this does not imply a risk free environment. A safe dam is one which performs its intended functions without imposing unacceptable risks to the public by its presence.*

The mention of “unacceptable risks” suggests that there are guidelines used to determine if risks are unacceptable. This is the case and Reclamation uses a two-tier system of public protection guidelines, against which the estimated risks may be compared (US Bureau of Reclamation, 1997 and 2003).

**US Army Corps of Engineers** is drafting a policy on tolerable risk for human life. The agency, which is responsible for almost 600 dams throughout the USA, is presently implementing risk assessments for individual dams for District portfolios on a demonstration basis as part of a research and development program. Economic risks are evaluated using simulation models to examine proposed project alternatives and funding streams are calculated over a 50-year period. Project performance is modelled using reliability analysis and benefit/cost ratios are evaluated for each alternative.

Johnson (2000) has described practice in **Washington State**. The Design Step Format includes an approach on risk evaluation. The following is from Johnson (2000).

*Les philosophies de Protection équilibrée et de Conception dépendante des conséquences sont mises en œuvre au travers du processus de conception graduée. Ce processus utilise huit niveaux, pour lesquels la conception devient progressivement plus rigoureuse lorsque les conséquences de rupture deviennent plus graves. Le niveau de conception numéro un présente une probabilité de dépassement annuelle de 1 sur 500, et serait appliqué lorsque les conséquences de la rupture de barrage sont minimales, et n'entraînent pas de pertes humaines. Le niveau de conception numéro 8 s'applique aux grands barrages dont la rupture serait catastrophique, des centaines de vies étant menacées. Dans cette situation, des contraintes de charges extrêmes sont utilisées pour obtenir de très hauts niveaux de fiabilité, nécessaires pour protéger réellement les populations. C'est pourquoi la probabilité de dépassement annuel est fixée à un sur un million, ou à celle des événements théoriques maximum (PMP, MCE), suivant celle qui est la plus petite. L'événement de projet pour le niveau 8 avec une probabilité de  $10^{-6}$  est basé sur les normes de conception existantes (EPRI, 1989) et sur une revue des recommandations pour les ouvrages techniques présentant des conséquences extrêmes de défaillance, comme les centrales nucléaires.*

*Une question fondamentale lorsqu'on effectue une conception basée sur le risque est « qu'est-ce qu'un risque acceptable (ou tolérable)? ». Ceci est probablement l'aspect le plus controversé de l'utilisation de l'évaluation des risques pour la sécurité des barrages. Ceci implique qu'au-dessus du seuil de certains événements de projet, la perte de vies serait tolérée. Ceci est en réalité un concept d'ingénierie utilisé pour la conception des ponts (Unified Building Code) et dans d'autres codes ou normes techniques. Lorsque l'état de Washington a développé ces standards, il n'existait que peu de textes de référence sur les critères de risque tolérable pour la sécurité des barrages. C'est pourquoi, au lieu de définir un risque tolérable, il a été décidé d'utiliser des niveaux de conception cohérents avec les niveaux de sécurité fournis par d'autres disciplines techniques et par la réglementation gouvernementale. Les niveaux de protection réels de nombreuses constructions techniques sont plus ou moins cachés derrière les normes et les codes (quelquefois intentionnellement), et les niveaux réels de conception et les probabilités de défaillance doivent être recalculés. Ce calcul inverse a été effectué pour l'établissement d'objectifs de performances pour la conception et l'évaluation des installations du Département de l'Énergie. Ces informations, ainsi que d'autres sources, ont fourni un référentiel pour fixer des appréciations.*

*D'autres références pour fixer les niveaux de conception ont été obtenues en examinant les niveaux de risque auxquels la population est exposée dans la vie courante.*

*Une étude a montré une tendance fondamentale. Pour les activités pour lesquelles peu de vies sont menacées, le public accepte des valeurs nominales de protection. Inversement, lorsque le nombre de personnes menacées et les conséquences de la défaillance augmentent, le niveau de protection attendu par la société et par les professionnels augmente de manière importante. Cette approche est appelée « aversion au risque » en ce qui concerne les pertes de vies humaines.*

Récemment, l'ouvrage ***Emerging Issues White Paper***, (USSD, 2003 - Évaluation des risques pour les barrages : Qu'est-ce ? Qui l'utilise, et pour quelle raison ? Que devons-nous en faire ? Société des barrages des États-Unis ; Comité de

*The philosophies of Balanced Protection and Consequence Dependent Design are implemented through the Design Step Format. This format utilizes eight steps, where the design events become increasingly more stringent as the consequences of failure become more severe. Design Step 1 has an annual exceedance probability of 1 in 500, and would apply where the consequences of dam failure are minimal and there would be no chance for loss of life. Design Step 8 applies to large dams where a dam failure would be catastrophic, with hundreds of lives at risk. In this situation, extreme design loads are used to provide the extremely high levels of reliability needed to properly protect the public. Thus, the design event for Step 8 is set at an AEP of 1 in 1,000,000, or the theoretical maximum events (PMP, MCE), whichever is smaller. The design event for Step 8 of AEP of  $10^{-6}$  is based on existing design standards (EPRI, 1989) and a review of recommendations for engineered structures with extreme consequences of failure, such as nuclear power plants.*

*A critical question when using risk-based design is “what is ‘acceptable’ (or tolerable) risk?” This is probably the most controversial aspect of using risk assessment in dam safety. This implies that above some threshold design event/performance level, loss of life would be tolerated. This is actually a common engineering precept used in bridge design, the Unified Building Code, and other engineering codes and standards. At the time Washington State was developing their standards, there was very little guidance on tolerable risk criteria in the dam safety field. Thus, rather than try to come up with a definition of tolerable risk on their own, they decided to utilize design levels that would be consistent with the levels of safety provided by other engineering disciplines and governmental regulation. Because the actual levels of protection in many engineering applications are obscured by standards and codes (sometimes intentionally), the actual design levels and probabilities of failure had to be back calculated. This back calculation had been done for the establishment of performance goals in the design and evaluation of Department of Energy facilities. That information, as well as other sources, provided background information for setting benchmarks.*

*Additional guidance in setting design levels was obtained by examining the levels of risk to which the public is exposed in ordinary life.*

*A review showed a basic trend. In those activities where few lives are at risk, the public accepts nominal values of protection. Conversely, as the number of persons at risk and the consequences of a failure increase, the level of protection expected by society and the engineering profession increases significantly. This viewpoint is termed “risk-averse” with regard to loss of life.*

Recently the **Emerging Issues White Paper** (USSD, 2003 - Dam Safety Risk Assessment: What is it? Who’s using it and why? Where should we be going with it? United States Society on Dams; Committee on Dam Safety; Working Group on

sécurité des barrages ; Groupe de travail sur l'évaluation des risques) a été publié. Le résumé complet de cet article (extrait de la version finale pour publication, novembre 2002) a été inclus ici et dans les sous-sections 4.3.3 et 4.4.2.

Il faut noter que dans la citation qui suit, l'acronyme PRA a été conservé pour *Portfolio Risk Assessment* (Évaluation multiple des risques), bien que dans ce bulletin PFRA soit généralement préféré, car PRA est couramment utilisé pour *Probabilistic Risk Assessment* (Évaluation probabiliste des risques). L'orthographe a été modifiée pour être conforme à l'anglais du Royaume-Uni.

*Ce Livre blanc représente la position d'un groupe composé de membres de la Société des barrages des États-Unis (USSD) et d'autres professionnels de la sécurité des barrages listés dans l'annexe A (annexe A du Livre blanc). Il a été rédigé à destination de la profession des ingénieurs de barrages aux États-Unis par un Groupe de travail établi par le comité USSD de sécurité des barrages (CODS) en réponse à une demande du bureau USSD. Cette demande est motivée par les intérêts croissants éveillés par l'évaluation des risques pour les barrages. L'objectif principal du Livre blanc est d'« évaluer l'état de l'art pour l'évaluation des risques dans le domaine des barrages, et de fournir des commentaires sur des applications ou des méthodes permettant de faciliter et de renforcer son utilisation ».*

*Le Livre blanc est ni un guide d'utilisation, ni une norme. Le groupe de travail n'a pas spécifié d'approches particulières. Les références qui ont été faites aux applications le sont à titre d'illustration de ce que certains propriétaires ou organismes régulateurs ont trouvé utile. Elles doivent être resituées dans le contexte dans lequel elles ont été effectuées, et dans lequel les résultats ont été utilisés. Elles ne doivent pas être considérées comme des modèles qui doivent être reproduits.*

*Le groupe de travail a organisé plusieurs sessions de travail d'une demi-journée, ainsi qu'un atelier de trois jours en mars 2000 financé par la FEMA à travers l'Association of State Dam Safety Officials (ASDSO). L'atelier spécialisé ASDSO/FEMA sur l'évaluation des risques pour les barrages a été un moment clé pour développer une position de consensus, présentée dans le Livre blanc. Le Groupe de travail a été épaulé lors de l'atelier par d'autres participants originaires notamment des États-Unis, d'Australie ou du Canada, listés dans l'annexe A du Livre blanc.*

*La structure du Livre blanc se rapporte de la manière suivante aux trois questions posées dans le titre, « Évaluation des risques pour les barrages : Qu'est-ce ? Qui l'utilise et pour quelle raison ? Que devons nous en faire ? » :*

- 1. **Qu'est-ce ?** La section 2.0 expose certains principes et concepts fondamentaux de l'évaluation des risques pour les barrages. La section 3.0 présente une évaluation de l'état de l'art pour les quatre catégories d'applications d'évaluation des risques, listées ci-dessous.*
- 2. **Qui l'utilise, et pour quelle raison ?** La section 4.0 présente l'exposé et l'évaluation d'applications pour chacune des quatre catégories de propriétaires ou d'organismes de régulation qui les financent.*
- 3. **Que devons nous en faire ?** La section 5.0 présente des commentaires sur les pratiques actuelles de l'évaluation des risques, notamment des avertissements et des limitations ayant été identifiées par le groupe de travail. La section 6.0 traite du transfert technologique et de la formation nécessaires pour diffuser cet état de l'art au sein de la profession. La section 7.0 fait le point sur la recherche et*

Risk Assessment) was published. The extensive summary of that paper (from the final draft for publication, November 2002) has been included here and in Subsections 4.3.3 and 4.4.2.

Note that in the following quotation, the acronym PRA has been left as signifying Portfolio Risk Assessment, although generally in this bulletin PFRA is preferred, since PRA has been a common acronym for Probabilistic Risk Assessment. Spelling has been changed to UK English.

*This Emerging Issues White Paper represents the consensus position of a diverse group of US Society on Dams (USSD) members and other dam safety professionals listed in Appendix A (refers to Appendix A of the White Paper). It was prepared for the dam engineering profession in the US by a Working Group established by the USSD Committee on Dam Safety (CODS) in response to a request from the USSD Board. The request grew out of the growth of interest in and applications of dam safety risk assessment. The White Paper's overall purpose is "To assess the state-of-the-practice in dam safety risk assessment, and to provide commentary on appropriate types of applications and ways to facilitate and strengthen its use."*

*The White Paper is neither a "how to" guide nor a standard of practice. The Working Group did not endorse any specific approaches. References made to applications are illustrative of what some owners and regulators have found to be useful. They should be understood in the context in which they were conducted and in which their outcomes were used. They should not be considered templates to be copied.*

*The Working Group held several half-day working sessions in addition to three-day workshop in March 2000 with sponsorship from FEMA through the Association of State Dam Safety Officials (ASDSO). The ASDSO/FEMA Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams provided the principal opportunity to develop the consensus position presented in the White Paper. The Working Group was assisted at the Workshop by some additional participants, including some from the States and some from Australia and Canada, who are listed in Appendix A (of the White Paper).*

*The organization of the White Paper flows from the three questions posed in its title, "Dam Safety Risk Assessment: What is it? Who's using it and why? Where should we be going with it?" as follows:*

- 1. **What is it?** Section 2.0 summarizes some principles and fundamental concepts of dam safety risk assessment. Section 3.0 provides an assessment of the current state-of-the-practice for the four risk assessment application categories, which are listed below.*
- 2. **Who's using it and why?** Section 4.0 provides summaries and evaluations of applications in each of the four application categories by the owners or regulators who sponsored them.*
- 3. **Where should we be going with it?** Section 5.0 provides commentary on appropriate current practice of risk assessment, including cautions and limitations, which were identified by the Working Group. Section 6.0 summarizes technology transfer and training ( $T^3$ ) needed to make the state-of-the-practice more broadly available to the profession. Section 7.0 summarizes research and*

développement (R&D) nécessaires pour améliorer l'ampleur et la qualité des applications <sup>13</sup>.

Les constats du groupe de travail et les commentaires sur les pratiques actuelles appropriées sont résumés pour chacune des quatre catégories d'applications de la manière suivante :

1. **L'identification des modes de défaillances (FMI)**, qui constitue une étape préliminaire lors de l'évaluation des risques, doit être également une pratique standard pour les approches traditionnelles basées sur les normes, pour l'évaluation et la conception de la sécurité des barrages<sup>14</sup>. La FMI, fournit une évaluation plus complète de la sécurité d'un barrage et une base pour renforcer de nombreux aspects d'un programme de sécurité (par exemple auscultation et visite, planification des urgences, O&M). Un guide des applications est nécessaire très rapidement pour utiliser la FMI. Les utilisateurs doivent être conscients que la FMI est une approche de diagnostic qualitatif, et non un outil de décision.
2. **L'indice de priorité (IP)** est utile et de plus en plus utilisé pour effectuer des choix de priorité et de recherches, mais il doit être étalonné et intégrer une mesure de risque pour pouvoir prétendre être orienté risques. Cette approche est en général moins coûteuse que la PRA, mais elle est plus limitée au niveau de ses résultats.
3. **L'évaluation multiple des risques (PRA)** est une approche intéressante et de plus en plus acceptée pour classer les priorités des mesures correctrices pour la sécurité des barrages et des recherches nécessaires pour un groupe de barrages. Elle fournit des informations spécifiques pouvant mieux informer les propriétaires des responsabilités liées à l'exploitation d'un barrage. Les résultats de la méthode PRA doivent être utilisés en gardant en mémoire les limitations de cette approche, et ils doivent être mis à jour régulièrement.
4. **L'évaluation quantitative des risques (QRA)** est précieuse pour fournir des informations et une meilleure compréhension des modes de défaillance et des risques associés pour les parties intéressées (probabilités et conséquences). Les incertitudes des données et des résultats doivent être prises en compte. Il est nécessaire de développer de meilleures approches pour l'évaluation des probabilités et des conséquences. Des critères de risque acceptable ou tolérable doivent être développés et largement reconnus. Les parties intéressées doivent prendre des décisions concernant une utilisation appropriée, pouvant être le cas échéant justifiée.

En séparant la catégorie QRA des autres catégories d'application, le groupe de travail a été capable de reconnaître le potentiel de chaque catégorie séparément. Dans les cas où la QRA fournit une justification pour un niveau de sécurité inférieur à celui normalement associé avec l'approche traditionnelle, le groupe de travail pense que les parties intéressées doivent prendre une décision correspondant au contexte particulier, notamment aux aspects légaux et réglementaires. Les différences existant dans les contextes de décision et dans les informations à disposition des parties intéressées ont été

---

<sup>13</sup> Des recommandations pour le transfert technologique, la formation et la R&D sont actuellement prises en compte par le sous comité de recherche ICODS.

<sup>14</sup> La FERC (Federal Energy Regulatory Commission) développe un programme de surveillance des performances (PMP), qui comprend « une orientation modes de défaillances » pour la revue et l'évaluation de la sécurité et des performances d'ouvrages de retenue d'eau réglementés par la FREC dans le cadre du programme existant P I2D sur l'évaluation de la sécurité des barrages.

development (R&D) needed to improve the breadth, depth and quality of applications<sup>15</sup>.

The Working Group's findings and commentary on appropriate current practice are summarized for each of the four risk assessment application categories as follows:

1. **Failure Modes Identification (FMI)**, which is an early step in performing a risk assessment, should also be standard practice for traditional standards-based approaches to dam safety evaluation and design<sup>16</sup>. FMI provides a more comprehensive safety evaluation of a dam and a basis for strengthening many aspects of a dam safety program (e.g. instrumented and visual monitoring, emergency preparedness planning, O&M). Applications guidance is urgently needed for performing FMI. Users must recognize that FMI is a qualitative diagnostic approach and not a decision tool.
2. **Index Prioritisation (IP)** approaches are valuable and increasingly utilized for prioritising dam safety issues and investigations, but should be calibrated and must incorporate a risk metric to be considered risk-based. They are generally less costly to use than PRA, but are more limited in the scope of their outcomes.
3. **Portfolio Risk Assessment (PRA)** is a valuable and increasingly accepted approach for cost-effectively prioritising dam safety remedial measures and further investigations for a group of dams. It provides insights that can better inform owners about the business and liability implications of dam ownership. PRA outcomes must be used with regard for the limitations of the approach and should be periodically updated.
4. **Quantitative Risk Assessment (QRA)** approaches are valuable for providing insights and understanding of failure modes and associated stakeholder risks (probabilities and consequences). Uncertainties in inputs and outcomes must be taken into account. Improved approaches to the estimation of probabilities and consequences are needed. Acceptable/tolerable risk criteria need development and are yet to gain widespread acceptance. Stakeholders must decide on issues of appropriate use and defensibility.

By separating the category of QRA from the other application categories, the Working Group was able to recognize the applications potential of each category separately. For the case in which a QRA provides justification for a level of safety below that normally associated with the traditional approach, the Working Group considered that stakeholders must decide each case within its particular decision context, including legal and regulatory aspects. Differences in decision contexts and stakeholder information needs for dam safety decision making were given special

---

<sup>15</sup> Recommendations for T<sup>3</sup> and R&D are under consideration by the ICODS Research Subcommittee.

<sup>16</sup> The FERC is developing a Performance Monitoring Program (PMP), which incorporates "failure mode thinking" in reviewing and evaluating the safety and performance of water retaining structures regulated by FERC in the context of the existing Part 12D program of Dam Safety Evaluation.

*spécialement prises en compte par le Groupe de travail lors de l'atelier ASDSO/FEMA et elles ont servi de toile de fond pour l'évaluation des catégories d'application et autres conclusions du Groupe de travail.*

### **4.3.3. Application de l'évaluation des risques pour les recommandations de décision**

Environ la moitié des pays ayant apporté une réponse s'appuie totalement sur « les pratiques normales », ou approches basées sur la normalisation pour le contrôle et la gestion des risques, sans considération explicite des risques ou des incertitudes associées. Ceci signifie que les ouvrages sont construits selon les normes habituelles. La maintenance et le contrôle sont effectués selon les pratiques normales pour les installations importantes. La plupart des propriétaires sont conscients, à un certain degré des conséquences de la rupture d'un barrage (cartes des crues associées, etc.).

Un système plus ou moins complet de contrôle et de gestion des risques est constitué par l'évaluation des risques pour un ensemble de barrages, PFRA. Les pays suivants utilisent cette méthode : l'Australie, le Canada, la République tchèque, l'Afrique du Sud, et les États-Unis. Certaines des réponses sur le PFRA sont données ici.

#### **Australie**

L'application la plus courante actuellement est l'évaluation multiple des risques, utilisée pour :

- 1. Aider à fixer les priorités et les programmes pour des études et actions ultérieures ;*
- 2. Fournir une première appréciation de l'état de sécurité d'un groupe de barrages, ou de plusieurs composants sur un barrage isolé ;*
- 3. Obtenir une indication préliminaire de l'ampleur probable des mesures de réduction de risque nécessaires.*

De plus :

*Le principal objectif donné par les organisations membres d'ANCOLD pour l'évaluation multiple des risques est de fixer des priorités pour des études ultérieures plus détaillées. Le principal objectif pour l'évaluation des risques d'un barrage individuel et de fixer des priorités pour des actions correctives. Cette planification permet l'utilisation la plus efficace de ressources financières limitées. La comparaison des options pour la réduction de risque et la sélection de la meilleure option est également un objectif cité. Un certain nombre des personnes ayant répondu mentionne l'utilisation de l'analyse des risques pour estimer la fiabilité des composants d'un barrage.*

#### **Brésil**

La structure des organisations propriétaires d'ouvrages hydroélectriques évolue actuellement au Brésil, les caractéristiques principales de la situation étant les suivantes :

1. Un certain nombre de barrages sont en cours de privatisation ;

*consideration by the Working Group at the ASDSO/FEMA Workshop and provided the backdrop for the Working Group's evaluation of application categories and other findings.*

#### **4.3.3. Application of risk assessment to decision recommendations**

About half of the countries which responded, rely wholly on “normal practice”, or a standards-based approach, for risk management and control, without explicit consideration of risk or the associated uncertainties. This means that the structure has been built according to normal standards; maintenance and control has been performed according to normal practice for (large) installations; and most owners are to some degree aware of the consequences of a dam-break (simple flood maps, etc.).

One more or less overall risk management and control system is the Portfolio Risk Assessment, PFRA. The following countries use this method: Australia, Canada, Czech Republic, South Africa and USA. Some of the replies on PFRA are given here.

##### **Australia**

The most common application to date is the use of portfolio risk assessment, which is used to:

- 1. Aid in setting priorities and programs for later studies and actions;*
- 2. Provide a preliminary appreciation of the safety status of a group of dams, or the several elements of an individual dam system;*
- 3. Obtain an early indication of the likely scale of needed risk reduction measures.*

And further:

*The main purpose given by ANCOLD member organizations for portfolio risk assessments was the assignment of priorities for subsequent more detailed studies. The main purpose given for individual dam risk assessments was assignment of priorities for remedial action. Planning that will achieve the most effective use of limited financial resources is the underlying purpose. Comparison of options for risk reduction and selection of a preferred option was also cited as a purpose. A number of respondents referred to the use of risk analysis to assist in assessing the reliability of components of dams.*

##### **Brazil**

Brazil is facing a change in its pattern of ownership of hydroelectricity exploration, with key features of the current situation being:

1. Ownership of dams is passing from the State to the private sector;

2. 95 % de l'électricité brésilienne est, et restera à moyen terme, d'origine hydroélectrique ;
3. Tous les barrages brésiliens ont été conçus, et sont toujours gérés au plan de la sécurité, à partir de l'approche **SBA** – pratique traditionnelle basée sur la normalisation ;
4. Il n'existe pas de règlement officiel de sécurité, mais un grand nombre de textes de référence des propriétaires.

L'évaluation des risques pour les barrages n'est pas utilisée couramment, malgré quelques tentatives pour créer une culture d'**évaluation des risques**. Le Comité National a organisé un symposium « **risques associés aux barrages** » avec des conseillers internationaux, des techniciens brésiliens, et des représentants du gouvernement (Comité Brésilien des Barrages, 2001).

### **Canada**

La gestion des risques d'ensemble a été développée par BC-Hydro. Cette méthode est pilotée par les conséquences d'une rupture, et la nature des déficiences perçues, ou des non-conformités basées sur des pratiques de sécurité conventionnelles (dont les résultats sont vérifiés par la suite par des investigations). Cette approche s'est révélée robuste et très précieuse pour fixer des priorités d'évaluation de déficiences pour 61 barrages de BC-Hydro. Cette méthode peut également être appliquée pour des modernisations importantes des barrages. L'approche traditionnelle basée sur la pratique pour fixer les priorités d'un ensemble de barrages a été choisie, au détriment de priorités basées sur les premières estimations d'un risque quantifié, car l'expérience de BC-Hydro montre que les connaissances concernant le barrage et les déficiences sont insuffisantes à l'heure actuelle pour obtenir des estimations de risque permettant d'alimenter objectivement les décisions.

Le programme de sécurité des barrages de *Ontario Power Generation (OPG)* (Canada) est opérationnel. Tous les barrages ont été évalués au moins une fois, et les déficiences existantes sont connues en général ; c'est pourquoi une évaluation multiple des risques n'a pas été adoptée. OPG fixe les priorités de ses travaux de maintenance et de modernisation selon les conséquences d'une rupture et le type et l'importance relative des déficiences.

### **République Tchèque**

La pratique de l'évaluation des risques, comprenant l'analyse des risques et l'appréciation des risques pour la sécurité et la supervision des barrages, a une longue tradition en République tchèque. De nombreux travaux utiles ont été mis en œuvre récemment dans les barrages tchèques, suite à une évaluation multiple des risques (barrages de Mšeno, de Morávka, d'Orlík, de Josefův Důl, de Nechanice, de Skalka, et de nombreux barrages en Moravie).

### **Norvège**

La Norvège utilise un système de classification des barrages basé sur les conséquences évaluées grâce à des analyses de danger de rupture. Entre autres, ces analyses donnent des informations sur la hauteur maximale, le débit maximal, les

2. 95 % of the Brazilian electricity is, and will remain for the foreseeable future, generated as hydroelectricity;
3. All Brazilian dams have been designed, and are still managed for safety, by **SBA** – the traditional standards-based engineering practices;
4. There is no official safety policy, but a large number of owners' guidelines.

Risk assessment for dams is not a current practice and some attempts to start to create a culture of **risk assessment** have been made. The National Committee promoted a symposium "**Risks Associated to Dams**" with foreign consultants, Brazilians technicians and government representatives (Brazilian Committee on Dams, 2001).

### **Canada**

Portfolio Risk Management was developed at BC Hydro. The method is driven by consequences of failure, and the nature of a perceived deficiency or non-conformance based on conventional dam safety practices (the results of which are subsequently verified by dam safety investigations). The approach has proven to be robust and very valuable for prioritising deficiency assessments for BC Hydro's 61 dams. The method may also be applied to capital upgrades for the dams. This conventional practice-based approach to prioritisation for a portfolio of dams was selected in favour of prioritisation in terms of first estimates of quantified risk because it has been BC Hydro's experience that at the time prioritisation of deficiencies is carried out, there is insufficient knowledge of the dam and the deficiencies to obtain reliable estimates of risk that genuinely inform the decisions concerning priorities.

*Ontario Power Generation's* (OPG) dam safety program (Canada) is mature. All dams have been assessed at least once, and existing deficiencies are generally known; so a portfolio risk assessment was not adopted. OPG prioritises its maintenance and upgrade work based on the consequences of failure and the type and relative importance of the deficiencies.

### **Czech Republic**

Risk assessment practice, including risk analysis and risk evaluation, as the basis for the dam safety surveillance and supervision system, has a long tradition in the Czech Republic. Many useful works have been implemented in Czech dams as the result of portfolio risk assessment in recent time (Mšeno Dam, Morávka Dam, Orlík Dam, Josefův Důl Dam, Nechanice Dam, Skalka Dam, and several dams in Moravia).

### **Norway**

Norway has a system for classification of dams based on consequences assessed through dam-break hazard analyses. Among others, the dam-break hazard analyses give information about maximum depth, maximum discharge, velocities and arrival

vitesse et l'heure d'arrivée de l'onde de crue. Ces informations sont utilisées pour évaluer l'impact sur les bâtiments et autres infrastructures, ainsi que sur l'environnement. Les barrages sont répartis en trois catégories de conséquences. Certaines exigences présentées dans la nouvelle version des réglementations sont différenciées suivant la catégorie. Les réglementations permettent l'utilisation d'analyses de risque, mais il n'existe pas de directives sur la manière de les utiliser. Les priorités dépendent donc des catégories. Certains propriétaires de barrages utilisent des analyses de risque pour différents objectifs, mais l'évaluation multiple des risques n'a pas encore été utilisée.

### **Afrique du sud**

Depuis près de quinze ans, la prise de décision basée sur les risques (évaluation multiple des risques) reste la base des décisions au *Department of Water Affairs and Forestry* (DWAF), propriétaires de plus de 300 barrages. Un ingénieur a besoin de dix à cinquante heures pour effectuer une analyse de risque de niveau zéro, obligatoire dans le cadre de l'évaluation de sécurité des barrages tous les cinq ans en Afrique du Sud. Les résultats et les prévisions de ces analyses ont été (à quelques exceptions près) suffisants pour gérer le risque avec des contraintes budgétaires serrées – il n'a été que rarement nécessaire d'effectuer des analyses plus détaillées.

Les théories existantes ont été adaptées pour utilisation dans la république d'Afrique du Sud. Rien de « nouveau » n'a été observé dans la littérature depuis quelques dizaines d'années. Le DWAF a effectué quelques travaux spécifiques sur la résistance des barrages face au déversement. Cet aspect a été introduit dans les calculs en utilisant les concepts de « potentiel d'érosion » et de « résistance à l'érosion ». Le potentiel d'érosion de l'hydrogramme d'un déversement est fonction de la hauteur et de la durée du déversement. Les valeurs de la résistance à l'érosion des barrages ont été obtenues par évaluation du comportement de barrages subissant un déversement, grâce à des données locales et historiques.

### **États-Unis (Johnson, 2000)**

*Depuis sa mise en œuvre en 1990, l'utilisation de normes basées sur les risques s'est révélée relativement positive dans l'État de Washington. Elle fournit un niveau cohérent de protection contre les défaillances sur des aménagements situés dans tout l'État, malgré des différences significatives de sismicité et de précipitations. Pour les nouveaux barrages, nous avons été capables d'appliquer les concepts de risque grâce à une approche de normes basées sur les risques, relativement directe et facile à utiliser.*

*Pour l'évaluation des barrages existants, nous avons pu utiliser une combinaison de méthodes probabilistes, de concepts de risque et de normes basées sur les risques pour déterminer si le barrage présente un niveau approprié de protection contre les défaillances. Si les barrages ne sont pas conformes aux normes de l'État, nous sommes capables d'estimer le niveau relatif de risque qu'ils présentent actuellement, et de fixer des priorités pour mettre ces aménagements en conformité en commençant par les risques les plus élevés. Ceci nous a également permis d'informer les propriétaires que leurs barrages ne sont pas « sûrs », et aussi de les rendre conscients du niveau de risque que leur aménagement présente pour la population en aval. En complément, nous avons utilisé un schéma de priorité pour les mises en conformité de barrage présentant des problèmes, basé sur les risques relatifs de chaque aménagement.*

time of a flood wave. This information is used to assess the effects on buildings and other infrastructure, as well as on the environment. Dams are divided into three consequence classes. Some requirements given in the newly revised regulations on dam safety are differentiated with respect to consequence class. The regulations also allow for risk analyses to be performed, but there are no requirements on how to use risk analyses. Prioritisation of dams is, thus, mainly related to dam classes. Some dam owners use risk analyses for various purposes at the moment, but Portfolio Risk Assessment has not yet been performed.

### **South Africa**

After close to 15 years, risk-based decision-making (Portfolio Risk Assessment) is still the basis for decisions in the *Department of Water Affairs and Forestry* (DWAf), which owns more than 300 dams. It takes an engineer between 10 to 50 hours to perform the Level-0 risk analysis, which forms part of our compulsory 5 yearly Dam Safety Assessments in South Africa. The results and predictions of these analyses have (with a few exceptions) been sufficient to manage risk within tight budgetary constraints – it has seldom been necessary to perform more detailed state-of-the-art analyses.

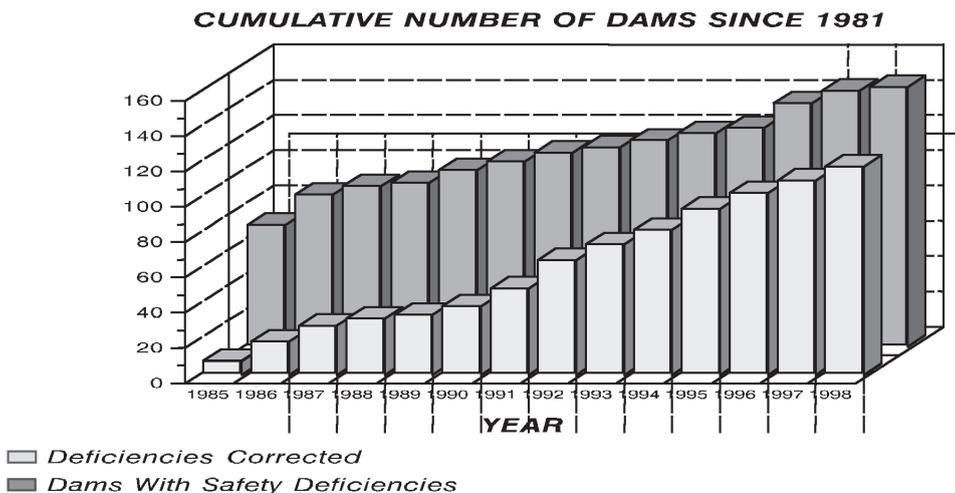
Existing theory has been adapted for use in the Republic of South Africa. Quite frankly nothing “new” has been observed in literature that was not published decades ago. DWAf has done some unique work on the overtopping resistance of dams. This aspect has been brought into the calculations by introducing the concepts “Erosion Potential” and “Erosion Resistance”. The Erosion Potential of the overtopping hydrograph is a function of the height and duration of overtopping. The values for the Erosion Resistance of dams have been obtained by evaluation of the behaviour of overtopped dams using local and historical data.

### **USA (from Johnson, 2000)**

*Since its implementation in 1990, the use of the risk-based standards approach has been quite successful in Washington State. It has provided a consistent level of protection against failure between projects located across the state, despite significant differences in seismicity and rainfall. For new dams, we have been able to apply risk concepts in a risk-based standards approach that is fairly straightforward and easy to use.*

*For the evaluation of existing dams, we have been able to utilize a combination of probabilistic methods, risk concepts and risk-based standards to determine if the dam has an adequate level of protection against failure. If dams do not meet state standards, we are able to estimate the relative level of risk they currently pose, and prioritise our compliance efforts on those projects with the greatest risk. It has also allowed us to inform dam owners not only that their dams are “unsafe”, but also educate them as to what level of risk their unsafe project poses to the downstream public. In addition, we have utilized a prioritisation scheme for compliance efforts on unsafe dams, based on the relative risk of each project.*

Ces approches combinées ont donné des résultats satisfaisants pour réparer les barrages présentant des défauts de sécurité dans l'État de Washington. Par exemple, sur les 46 barrages inspectés au cours du programme national d'inspection des barrages et considérés comme problématiques en 1990, 40 avaient été réparés en 1999. De plus, 78 des 101 barrages supplémentaires identifiés par le programme national de sécurité des barrages depuis 1985, ont été réparés. La Fig. 4.1 montre les actions cumulées depuis 1981.



D'autres pays ont fait des commentaires relatifs à la gestion et au contrôle des risques, autres que l'analyse multiple des risques.

### Argentine

Le Bureau de sécurité des barrages, ORSEP, a confié le contrôle et la gestion effective des barrages nationaux (il n'y a pas de réglementation pour les barrages provinciaux) à des consortiums. Ces concessionnaires sont responsables de la collecte des données d'auscultation, de l'archivage des enregistrements, des inspections, de l'étude régulière du comportement des barrages, et du maintien ou de la modernisation des systèmes d'instrumentation. Des rapports mensuels présentant les informations mises à jour sur l'auscultation des barrages sont transmis à l'ORSEP.

De plus, les contrats de concession demandent à chaque concessionnaire de mettre en œuvre un plan d'action d'urgence spécifique. Celui-ci doit prendre en compte les urgences et défaillances potentielles qui peuvent survenir, et leurs conséquences en aval. Ces plans comprennent une étude de différentes urgences potentielles, des actions à prendre, des niveaux d'eau pouvant être atteints et du délai d'arrivée de l'onde de crue dans les collectivités situés en aval, ainsi que les procédures d'alerte à mettre en œuvre. Des cartes d'inondation indiquent les zones potentiellement affectées dans différentes situations. Les cartes d'inondation et les informations publiées dans les plans d'action sont une source essentielle pour mettre en place des programmes d'évacuation, et les gouvernements provinciaux en sont responsables à travers leurs organismes de sécurité civile.

These combined approaches have resulted in great progress in repairing the backlog of dams with identified safety deficiencies in the State of Washington. For example, of the 46 dams inspected under the National Dam Inspection Program still listed as unsafe in 1990, 40 had been repaired by 1999. In addition, 78 of the 101 additional dams, identified by the state dam safety program since 1985, have been repaired. Fig. 4.1 shows the cumulative summary of corrective action since 1981.

Fig. 4.1  
 Dam Safety Improvements in Washington State, USA  
*Amélioration de la sécurité des barrages dans l'état de Washington, États-Unis*

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Cumulative number of dams since 1981 | <i>Nombre cumulé de barrages depuis 1981</i>                  |
| Deficiencies corrected               | <i>Déficiences corrigées</i>                                  |
| Dams with safety deficiencies        | <i>Barrages présentant des déficiences au niveau sécurité</i> |

Some **other countries** made comments related to risk management and control, other than applying to Portfolio Risk Analysis.

**Argentina**

The Dam Safety Organization Bureau, ORSEP, has given the actual management and control of the national dams (there is no regulation for provincial dams) to consortia. These concessionaires are responsible for obtaining monitoring data, keeping records, carrying out dam inspections, studying dam behaviour regularly and maintaining and upgrading instrumentation systems. Monthly reports with updated information on dam safety monitoring are submitted to ORSEP.

Moreover, the concession contracts require each concessionaire to implement a specific emergency action plan. It must take into account the potential emergencies and failures that could occur and their consequences downstream. These plans include a study of different potential emergencies, actions to be taken, water levels that could be reached and flood wave arrival time at the communities located downstream and warning procedures to be followed. Flood maps indicate potential affected areas under different situations. Flood maps and the information published in the action plans are an essential source to develop evacuation programs, and provincial governments are responsible for them through their civil defence groups.

## **Finlande**

En Finlande, il existe trente-quatre barrages classés comme très dangereux du fait de leurs impacts en aval. Ces barrages sont considérés, à la fois, sous l'angle des exigences de sécurité stipulées dans la législation de sécurité des barrages, et sous l'angle technique du code de pratique de sécurité des barrages. Tous ces barrages ont un niveau équivalent de suivi de la sécurité, et subissent, après l'inspection initiale, un programme de surveillance étroite. Pour tous ces barrages, une définition des dangers, en cas de rupture et de plan d'action d'urgence, doit être préparée et mise à jour fréquemment.

En Finlande, une analyse des risques a été préparée pour le projet pilote RESCDAM. Il faut noter que, malgré la nature pilote du projet, tous les résultats de l'analyse de risques ont été utilisés pour la planification des actions d'urgence et pour la campagne d'information publique organisée dans la ville de Seinäjoki. Tous les résultats détaillés de ces travaux ont été rendus publics et sont disponibles comme modèle.

## **France**

Les approches de type évaluation multiple des risques semblent très intéressantes et probablement beaucoup plus faciles à utiliser. Actuellement, il existe de nombreuses études et méthodes utilisées pour classer les barrages existants de manière à fixer des priorités pour les recherches, les renforcements et les réparations. La plupart d'entre elles sont basées sur des méthodes simplifiées d'évaluation des risques, et en général également sur des indices, avec des facteurs combinant les points les plus importants. Il est évident que ces méthodes peuvent donner des résultats biaisés, mais elles sont considérées comme donnant des résultats assez satisfaisants et opérationnels à un coût raisonnable.

## **Allemagne**

En Allemagne, les nouvelles normes techniques (version provisoire) traitent le problème du danger potentiel, mais donnent carte blanche pour une évaluation complémentaire des risques. Elles ne donnent pas d'instructions spécifiques concernant des méthodes concrètes d'évaluation des risques. La fonction de réduction des risques assurée par l'auscultation des barrages est mentionnée séparément.

## **Italie**

Pour l'estimation des dangers, les zones en aval qui seraient inondées en cas de rupture sont identifiées pour tous les grands barrages italiens. Les zones inondées, la hauteur et la vitesse de l'onde de crue ont été déterminées pour deux situations : rupture de barrage et ouverture des ouvrages de restitution. Ces études ont été demandées par l'organisme chargé des barrages en 1986 (ouverture des ouvrages de restitution) et 1987 (rupture de barrages) et sont utilisées pour préparer des plans d'urgence.

L'unique expérience effective utilisant des « facteurs de risque » a consisté à classer un vaste ensemble de plus de 8 000 petits barrages (qui sortent du cadre de la réglementation des barrages). Une revue des caractéristiques de sécurité les plus

## **Finland**

In Finland there are 34 dams classified as high hazard dams according to their downstream impacts. These dams are considered equal with respect to the safety requirements stipulated in the dam safety legislation and technically specified in the dam safety code of practise. All these dams have similar level dam safety files and follow, after their basic inspection, a tight surveillance and inspection program. For all of these dams a hazard definition, for the case of dam-break and emergency action plans, has to be prepared and updated frequently.

In Finland a risk analysis has been prepared for the RESCDAM pilot project. Please note that, although a pilot project, all the results of this risk analysis have been used in the emergency action planning and public information campaign organized in the City of Seinäjoki. All detailed results of this work have been made public and are available as an example project.

## **France**

Portfolio risk assessment approaches are considered as very interesting and, probably, far more easy to use. At present, there are many studies and methods used to classify existing dams in order to prioritise investigations, reinforcement, and repair. Most of them are based on simplified methods of risk assessment, and are, generally, based on indexes, with factors combining some key points. These methods can obviously give biased results. But they are considered as giving a quite satisfactory and operational result at a reasonable cost.

## **Germany**

In Germany the new (draft) technical standards address the problem of hazard potential, but give free rein to complementary risk assessment. No specific instructions are given for the actual risk assessment methodologies. The risk-reducing function of dam monitoring is separately stressed.

## **Italy**

As far as the hazard assessment is concerned, the identification of the downstream areas flooded in case of the dam collapse is available for all the Italian large dams. The flooded areas, the depth and the velocity of the flood wave have been determined for two situations: assumed dam collapse and opening of the gated outlets. These studies were requested by the Dam Authority, in 1986 (opening of the outlets) and 1987 (dam collapse) and are used to prepare Emergency Preparedness Plans.

The only applied experience about the use of “risk factors” can be found in the activities carried out to rank a large portfolio of more than 8 000 small dams (which are outside the scope of the Dam Regulation). A review of the main safety features

importantes a été effectuée en utilisant des « indices de risque » pour classifier les barrages selon un facteur de risque global, objectif et simple.

### **Libye et Thaïlande**

En Libye, des experts internationaux sont en général mandatés pour effectuer des inspections de sécurité en situation critique. La Thaïlande mandate également des consultants internationaux dont la liste, ainsi que la description de leurs activités et des barrages concernés a été présentée.

### **Pays-Bas**

Aux Pays-Bas, l'évaluation multiple des risques n'a pas été utilisée. L'étude de Vrijling (2001), figurant dans l'annexe A de ce bulletin CIGB pour illustrer les pratiques actuelles, expose la conception probabiliste des systèmes de défense contre les eaux aux Pays-Bas. Cette étude décrit le développement de cette conception probabiliste depuis le rapport du comité Delta en 1960 jusqu'à l'époque actuelle, les conséquences d'une inondation et une note sur les risques acceptables. Ces travaux ont été principalement effectués au sein d'un groupe de recherche du Comité de conseil technique pour les ouvrages de rétention des eaux (TAW).

Le contrôle et la gestion réelle de tous les systèmes de défense contre les eaux aux Pays-Bas sont moins probabilistes, et s'appuient principalement sur l'approche traditionnelle basée sur les normes, mais en considérant les résultats des études probabilistes. Une estimation officielle de sécurité de toutes les défenses contre les eaux doit être effectuée par les propriétaires tous les cinq ans. La première estimation quinquennale a été achevée en 2001. Le Guide pour l'évaluation de la sécurité a été publié en 1996 et sera mis à jour tous les cinq ans. Il couvre pratiquement tous les modes de défaillance possibles et décrit le niveau de sécurité qui doit être respecté.

L'évaluation de sécurité de chaque composant d'un système de défense contre les eaux peut être effectuée en trois étapes, depuis la simple évaluation jusqu'à l'expertise complète. La première étape s'effectue avec de grandes marges de sécurité. Si l'ouvrage présente une sécurité inférieure au bas de fourchette, l'évaluation s'arrête et l'ouvrage doit être renforcé. S'il dépasse la fourchette supérieure, l'évaluation cesse également car l'ouvrage ou le composant est considéré comme complètement sûr. Une évaluation comprise dans la fourchette enclenche la seconde étape avec un processus d'évaluation plus élaboré. Des données supplémentaires seront nécessaires pour effectuer cette évaluation. À nouveau, une fourchette est définie pour « sûr » et « non sûr », mais les limites supérieure et inférieure sont plus rapprochées que pour la première étape. Si l'ouvrage ou le composant considéré se trouve toujours entre les deux limites après cette étape, des systèmes experts ou de connaissance mis à jour (comprenant le cas échéant une analyse probabiliste) doivent être utilisés.

Les conditions limites pour les vagues et le niveau des eaux à prendre en compte pour l'estimation de sécurité sont fixées par le Ministère des travaux publics. Le premier « Manuel des conditions hydrauliques » de 1996 indiquait les niveaux d'eau et les conditions de vagues pour chaque région des Pays-Bas à utiliser pour l'estimation. Il est prévu d'inclure des programmes probabilistes dans la troisième édition (2006), combinant toutes les statistiques hydrauliques avec un mode de

was carried out, using “risk indexes” to rank the dams according to an objective and simple global risk factor.

### **Libya and Thailand**

In Libya international experts are normally hired to run safety inspections during critical situations. Also Thailand hires international consultants; and a list of consultants with description of duties and dams concerned, was given.

### **Netherlands**

In the Netherlands, Portfolio Risk Assessment has not been applied. Vrijling (2001), listed in Appendix A to this ICOLD bulletin as a case study illustrating current practice, considers probabilistic design of water defence systems in the Netherlands. This approach includes development of the probabilistic design from the report of the Delta Committee in 1960 to the present, the consequences of flooding and a note on acceptable risk. All this work was mainly developed within a research committee of the Technical Advisory Committee for Water Retaining Structures (TAW).

The actual management and control of all the water defence systems in the Netherlands is less probabilistic and more Standards-based Approach, keeping in mind the outcomes of the probabilistic studies and approach. The official safety assessment of all water defences has to be done by the owners every five years. The first five yearly assessment will be completed in 2001. The Guideline on Safety Assessment was submitted in 1996 and will be renewed every 5 years. It covers almost all possible failure modes and describes the level of safety that should be present.

The safety assessment of each part of a water defence system can be performed in three steps, from easy assessment to expert analysis. The first step has large safety margins. If the structure fails to meet the lower bound, the assessment stops and the structure must be improved. If it meets the upper boundary, the assessment stops too as the structure or part is considered to be completely safe. An assessment between the upper and lower boundary leads to the second step with a more elaborated assessment process. More data will be required to perform this assessment. Again two boundaries are given for “safe” and “unsafe”, but these boundaries are closer than for the first step. If the structure, or the part being considered, still falls between the two boundaries after this step, experts or up-to-date knowledge and systems (possibly including probabilistic analysis) have to be used.

Wave and water level boundary conditions for the safety assessment are given by the Ministry of Public Works. The first “Hydraulic conditions book” in 1996 contained water levels and wave conditions for each part of the Netherlands to be applied for the safety assessment. It is expected that, for the third edition (2006), probabilistic programs will be included, combining all statistical hydraulic information with a failure mode (for example excessive overtopping) and giving the

défaillance (par exemple déversement excessif) et donnant la hauteur ou la résistance nécessaire pour les digues. L'estimation de sécurité deviendra de plus en plus probabiliste.

Un autre système de gestion et de contrôle a été développé récemment aux Pays-Bas. Sur la base de données de haut débit des rivières, un système d'information des crues (HIS), a été développé, envisageant l'évacuation éventuelle de plus de 100 000 personnes. Il est adapté principalement aux situations de crues, mais pas aux marées de tempêtes maritimes. Le système est capable de prévoir, à partir de données en ligne, les forts débits et leurs conséquences. Le système sera utilisé pour les prises de décision en situation critique de crue. Il comprend un module pour la prévision des dommages aux personnes et aux biens en cas d'inondation.

### **Nouvelle-Zélande**

Les principaux propriétaires de barrage en Nouvelle-Zélande ont été actifs pour le développement de systèmes de gestion de la sécurité des barrages, et pour la vérification de la sécurité. Ceci comprend :

1. Des études pour identifier les modèles de défaillances les plus probables et pour améliorer la surveillance des barrages et les programmes de sécurité ;
2. Des études pour identifier les options de modernisation réduisant les risques lorsque des déficiences ont été remarquées ;
3. Des estimations de danger sismique et la probabilité de fonctionnement des structures annexes (évacuateurs et ouvrages de restitution) de fonctionner après un tremblement de terre.

De nombreux propriétaires de barrage ont identifié des déficiences au cours des inspections régulières et ont procédé à des corrections.

### **Russie**

Des méthodes d'analyse des risques et une évaluation qualitative ou quantitative des risques sont largement utilisées pour préparer les certificats de sécurité pour les barrages en Russie. L'assurance de responsabilité civile des propriétaires de barrages commence à être courante, c'est pourquoi les compagnies d'assurances emploient souvent des professionnels pour estimer la fréquence et les conséquences d'éventuelles ruptures de barrage.

Actuellement, des certificats de sécurité ont été préparés pour 64 grands barrages, sous le contrôle du service national de supervision énergétique de Russie. Ces certificats sont basés sur l'évaluation et l'analyse des risques en utilisant une approche basée sur la normalisation, des méthodes qualitatives ou quantitatives. Pour les ouvrages dont l'état n'est pas conforme aux exigences modernes, les certificats présentent des recommandations pour la réduction des risques à un niveau acceptable. Des travaux similaires sont effectués dans des domaines sous la surveillance du Service de supervision des mines, du Ministère des transports et du Ministère des ressources naturelles de Russie.

required (dike) height or strength. The safety assessment will become more and more probabilistic.

Another management and monitoring system has been developed recently in the Netherlands. Based on recent high river discharges, with evacuation of more than 100 000 people, a High water Information System, HIS, was developed. It concerns mainly a system for high river discharges, not for storm surges from the sea. The system is able to predict, based on online data, high river discharges with the consequences. The system will be used in decision-making during critical situations of high water levels in rivers. It includes a module for prediction of damage and casualties in case of flooding.

### **New Zealand**

The major dam owners in New Zealand have been active in developing dam safety management systems and in reviewing the safety of the dams they own. This has included:

1. Studies to identify more likely failure models and to enhance dam surveillance and dam safety programs;
2. Studies to identify upgrade options that reduce risks where deficiencies have been identified;
3. Seismic hazard assessments and the likelihood of appurtenant structures (spillways and outlet works) to operate after earthquakes.

Many dam owners have identified deficiencies from regular safety reviews and have proceeded to correct these.

### **Russia**

Methods of risk analysis and qualitative or quantitative risk assessment are widely used for preparing safety licenses for dam engineering structures in Russia. Insurance of civil liability of dam owners is beginning, so insurance companies often employ dam engineering professionals for estimating frequencies and consequences of possible dam failures.

Currently, safety licenses have been prepared for 64 large dams, which are under surveillance of the State Energy Supervision of Russia. The licenses contain risk analysis and assessment using Standards-Based Approach, qualitative or quantitative methods. For structures whose condition does not meet modern requirements, the licenses contain recommendations on reduction of risk to acceptable levels. Similar work is being performed in departments under surveillance of The State Mining Supervision, The Ministry of Transportation and The Ministry of Natural Resources of Russia.

## Suède

En Suède, des analyses de risque ont été effectuées pour deux barrages, le barrage d'Ajajure et le barrage de Seitevar. Aucune évaluation multiple des risques n'a été effectuée. Toutefois, un schéma de priorités pour les barrages appartenant à Vattenfall, du point de vue de la sécurité, a été préparé en 2000. Pour ce schéma, préparé en coopération avec BC-Hydro, un « indice de priorité » est évalué en estimant les risques, considérés en fonction de la probabilité et des conséquences de rupture. Les résultats sont basés sur des déficiences observées lors des recherches du SEED (*US Bureau of Reclamation – Safety Evaluation of Existing Dams*). Les conséquences ont été estimées à partir de calculs de la propagation de l'onde de submersion après rupture du barrage.

## Suisse

En Suisse, il existe plus de 200 barrages classifiés comme très dangereux dans le sens le plus « concret » du terme. Ces barrages sont tous considérés de la même manière par les consignes de sécurité de l'Organisme de supervision de la confédération. Ils doivent être conformes aux exigences strictes du contrôle gouvernemental. L'unique clause laissant une marge de liberté est l'article 31 : « *l'Organisme de supervision détermine en accord avec les départements considérés (c'est-à-dire le Département fédéral du transport et de l'énergie, et le Département fédéral militaire) et après audition du propriétaire, le domaine d'application des articles de ce décret pour les installations existantes* ». Cet article s'applique uniquement en cas d'urgence. La législation suisse sur les barrages s'appuie sur une surveillance méticuleuse des plans des urgences.

**États-Unis** (Livre blanc pour les questions émergentes de l'USSD - en cours de publication) :

*L'application de l'évaluation des risques à la sécurité des barrages continue d'être très discutée. L'évolution des techniques, quel que soit le domaine, s'accompagne souvent d'une résistance ou d'un malaise, surtout lorsque le changement est radical. L'approche traditionnelle prend certes en compte les risques et les incertitudes, mais l'approche orientée risque cherche à les considérer de manière plus explicite, pour permettre au décideur de mieux comprendre leurs implications. Les ingénieurs doivent être persuadés que le changement amènera des améliorations pour la sécurité des barrages, et, encore plus important, pour la sécurité publique. Les commentaires du Groupe de travail sur les pratiques actuelles de l'évaluation des risques restent prudents, et prennent en compte une certaine flexibilité dans la reconnaissance des différents contextes de décision et des besoins d'information dans le domaine des barrages. Ces commentaires insistent sur le fait que les limitations doivent être entièrement prises en compte et que les stratégies d'évaluation des risques doivent compléter, et non remplacer l'approche traditionnelle. L'approche orientée risque ouvre la voie pour une amélioration de compréhension et de la gestion des risques pour les barrages, tout en se référant aux pratiques établies. Avec une expérience plus longue et des compétences plus affinées, des revues futures de l'évaluation des risques amèneront sans doute des conclusions plus confiantes, les commentaires actuels étant, selon le Groupe de travail, appropriés et justifiés.*

Cet extrait provient de la version finale du Livre blanc, qui vient d'être publié (USSD, 2003).

## Sweden

In Sweden risk analyses have been performed for two dams, the Ajaure Dam and Seitevar Dam. No Portfolio Risk Assessment has been performed. However, a scheme for prioritisation of the dams owned by Vattenfall, from the dam safety point of view, has been carried out during 2000. In the prioritisation scheme, performed in co-operation with BC Hydro, a “prioritisation index” is evaluated by assessing the risk, which is seen as a function of probability and consequences of failure. The results have been based on reported deficiencies in SEED-investigations (*US Bureau of Reclamation – Safety Evaluation of Existing Dams*). Consequences have been estimated using dam-break and flood wave propagation calculations.

## Switzerland

In Switzerland there are more than 200 dams classified as high hazard dams in the unadorned meaning of the term. These dams are considered equal with respect to the safety requirements stipulated by the Confederation’s Supervising Authority. They have to comply with the strict requirements of governmental control. The only clause leaving leeway is Article 31: “*The Supervising Authority determines in agreement with the interested Departments (i.e. Federal Department of Transportation and Energy and the Federal Military Department) and after hearing the owner as to the extent to which the articles of this Decree are valid for existing plants*”. This article is applied in emergency cases only. Thus Swiss dam safety legislation relies on meticulous surveillance and emergency planning.

## USA (from the USSD Emerging Issues White Paper – in publication):

*The application of risk assessment to dam safety continues to be a heavily discussed topic. Resistance and discomfort often accompany change in any field, especially when a significant paradigm shift is proposed. It is not that the traditional approach does not allow for risk and uncertainty, it does; but the risk-based approach seeks to consider them more explicitly and to empower the decision-maker with an understanding of their implications using the common currency of risk. The dam engineering profession must be confident that change will lead to improvements in dam safety and even more importantly in public safety. The Working Group’s commentary on the current practice of risk assessment is considered a cautious approach, which provides for flexibility in recognition of different decision contexts and information needs across the dams business. The commentary emphasizes that limitations must be fully considered and that risk assessment approaches should be used only as a supplement and not as a replacement for the traditional approach. This “risk-enhanced” approach provides a way for the benefits of improved understanding and management of dam safety risks to be realized, while maintaining a reference to established practice. As experience grows, and improved capabilities are developed, a future review of the risk assessment field may be bolder in its findings, but at this time, the Working Group considers that its findings and commentary on current practice are appropriate and justified.*

This excerpt is from the final draft of the White Paper, which has now been published (USSD, 2003).

## 4.4. RÉFÉRENCES, LÉGISLATION ET RECHERCHE

Dans cette sous-section, nous présentons une revue des textes de référence et de la législation actuelle (4.4.1) et des recherches en cours dans différents pays (4.4.2) Cette revue est donnée pour chaque pays par ordre alphabétique (selon le nom anglais).

### 4.4.1. Guides et législation

#### Argentine

Il n'existe pas de législation spécifique pour la sécurité des barrages en Argentine, mais la création d'une organisation spécifique responsable de la surveillance des barrages et de la réglementation des barrages nationaux a été une étape importante. L'OSREP (Organisme de sécurité des barrages) est responsable de la réglementation technique et de la supervision de la sécurité structurelle de tous les barrages nationaux. Actuellement, l'exploitation et la maintenance sont confiées à un consortium privé sous la forme d'une concession. Ces concessionnaires sont responsables de l'auscultation et de la surveillance du barrage, ainsi que de la mise en œuvre d'un plan d'évacuation d'urgence. Les rapports mensuels concernant l'auscultation des barrages et les documents techniques sont soumis à l'OSREP.

#### Australie

La sécurité des barrages en Australie est sous la responsabilité de chaque État. Certains États (par exemple Nouvelle Galles du Sud) ont développé des réglementations très spécifiques, tandis que d'autres s'appuient sur une législation plus générale définissant les responsabilités. Le *New South Wales Dam Safety Committee*, agence gouvernementale, prend en compte les résultats des évaluations ou analyses de risque pour gérer la sécurité des barrages dans cet État.

Le *Comité National Australien des Grands Barrages* (ANCOLD) a publié des documents présentant des conseils sur l'évaluation des risques (ANCOLD, 1994), intégrant les éléments d'analyse des risques, notamment le *Guide pour la conception sismique des barrages* (ANCOLD, 1998b) et le *Guide pour le choix d'une capacité acceptable de crues pour les barrages* (ANCOLD, 2000).

Le Département des ressources naturelles et de l'environnement de l'État de Victoria a publié des guides pour entreprendre des évaluations de risque, que les organismes de gestion de l'eau régionaux doivent effectuer pour recevoir une assistance financière du gouvernement pour améliorer la sécurité des barrages.

#### Brésil

Deux agences nationales assez récentes sont responsables du contrôle des concessions et de l'intégrité des barrages :

1. L'Agence nationale de l'énergie électrique – **ANEEL**;
2. L'Agence nationale de l'eau – **ANA**.

Ces agences n'ont pas encore publié de guides ou de procédures officielles. Chaque propriétaire de barrage est responsable de sa sécurité. Il n'y a pas actuellement de législation pour la sécurité des barrages.

## 4.4. GUIDELINES, LEGISLATION AND RESEARCH

In this sub-section an overview has been given of the existing guidelines and legislation (4.4.1) and the research in progress in various countries (4.4.2). The overview is given per country in alphabetical order.

### 4.4.1. Guidelines and legislation

#### **Argentina**

Although there is no specific legislation on dam safety in Argentina, the setting up of a specific organization responsible for dam safety supervision and regulation of national dams has been an important development. OSREP (the dam safety organization bureau) is responsible for the technical regulatory functions and the supervision of the structural safety of all national dams. At the moment, the operation and maintenance is contracted out to private consortia in the form of concessions. These concessionaires are responsible for monitoring and inspection of the dam and implementing of an emergency evacuation plan. Monthly reports on dam safety monitoring and technical documents are submitted to OSREP.

#### **Australia**

Dam safety in Australia is the responsibility of the individual states. Some states (e.g. New South Wales) have developed very specific regulations whilst others have relied on more general legislation defining liability. The *New South Wales Dam Safety Committee*, a government agency, will give consideration to the results of risk analyses/ assessments in its oversight of dam safety in that state.

The *Australian National Committee on Large Dams* (ANCOLD) has published some documents containing guidelines on risk assessment (ANCOLD, 1994), and guidelines that incorporate elements of risk analysis, namely *Guidelines for Design of Dams for Earthquake* (ANCOLD, 1998b) and *Guidelines on Selection of Acceptable Flood Capacity for Dams* (ANCOLD, 2000).

The Department of Natural Resources and Environment in Victoria has produced guidelines for undertaking business risk assessments, which the regional water authorities in that state are required to undertake in order to receive financial assistance from government for safety improvements to dams.

#### **Brazil**

Two quite new national agencies are responsible to control the concessions for and the integrity of dams, as follows:

1. The National Agency for Electricity Energy – **ANEEL**;
2. The National Agency of Water – **ANA**.

These agencies have not yet established any official guidelines or procedures. Each dam's owners are responsible for its safety. There is presently no legislation for dam safety.

## **Canada**

Il n'existe pas de politique officielle fédérale ou provinciale de tolérabilité des risques pour les barrages au Canada. Deux des dix provinces du Canada ont mis en œuvre des réglementations pour la sécurité des barrages (Alberta et Colombie Britannique). Une province, Ontario, prépare actuellement une réglementation, et une province (Québec) a voté récemment une nouvelle législation pour la sécurité des barrages, la réglementation associée étant entrée en vigueur pendant l'été 2001.

Les réglementations d'Alberta et de Colombie Britannique ne mentionnent pas spécifiquement l'évaluation des risques, mais ne l'excluent pas. Les autorités de contrôle sont prêtes à considérer des études orientées risque si elles sont proposées par le propriétaire. Les résultats de l'analyse des risques sous toutes ses formes ont été présentés à l'organisme de contrôle de la Colombie Britannique pour plusieurs projets de BC-Hydro. Ces différents types d'analyse ont été utilisés pour mieux comprendre les problèmes de sécurité sur les barrages, et mieux communiquer, mais ne sont pas la seule base de décision pour le propriétaire et pour l'approbation officielle.

Les membres du groupe d'intérêts sur la sécurité des barrages (Association Électricité Canada - CEA), un organisme représentant plusieurs organisations, ont financé le développement d'un « Guide de la gestion du risque pour les barrages ». La première partie de ces principes a été publiée (Groupe d'intérêts sur la sécurité des barrages, 1999), les parties 2 et 3 étaient prévues pour 2001 et 2002.

## **République Tchèque**

Depuis l'entrée en vigueur de la Loi sur l'eau de 1973, tous les propriétaires de barrage sont obligés d'assurer la sécurité de leur barrage. Le domaine d'application, les procédures pour la vérification de la sécurité et la surveillance des barrages sont réglementés par décret spécifique depuis 1975. Ce décret implique la mise en œuvre d'une surveillance systématique des barrages basée sur l'évaluation des risques.

Les dispositions législatives antérieures ont été reprises par la nouvelle loi sur l'eau, entrée en vigueur en juin 2001. Parmi les objectifs de la loi, deux concernent la sécurité des barrages :

- assurer la sécurité des ouvrages de rétention d'eau (section 1.1);
- créer des conditions de réduction des impacts négatifs des crues (section 1.1).

Les sections 61 et 62 listent les exigences pour assurer la sécurité des barrages et ouvrages associés. Les barrages sont classés en quatre catégories suivant les risques pour les personnes, pour les biens et pour le fonctionnement des infrastructures publiques. Le Ministère de l'agriculture stipule les exigences de supervision de sécurité, pour toutes les phases de la vie d'un barrage, par décret. Cette supervision est basée sur l'obligation d'inspecter régulièrement les barrages et de soumettre un rapport sur leurs conditions au Ministère de l'agriculture.

La planification de l'atténuation des effets des crues est présentée dans les sections 63 à 87 de la loi. Ces dispositions s'appliquent aux crues découlant d'une rupture de barrage ainsi qu'aux crues d'origine naturelle. Elles présentent les obligations pour la préparation de plans d'urgence en cas de crues, et attribue à ce sujet des responsabilités à une hiérarchie d'agences, du niveau local jusqu'au gouvernement central. La section 84 fixe les responsabilités des propriétaires de

## **Canada**

There is no federal or provincial government policy on the tolerability of risk for dam risks in Canada. Two of the ten Provinces in Canada have implemented dam safety regulations (Alberta and British Columbia). One Province, Ontario, is presently preparing regulations, and one Province (Quebec) has recently introduced new dam safety legislation with regulations coming this summer, 2001.

The regulations in Alberta and British Columbia do not specifically recognize risk assessment but do not exclude it. The regulators will consider risk-based dam safety cases if brought forward by a dam owner. The results of risk analysis in various forms have been presented to the regulator in British Columbia on various BC Hydro projects. The various forms of analyses have been used to gain a better understanding of the dam safety issues, and provide for better communication, but have not formed the sole basis for owner's decisions and regulatory approval.

The members of the Dam Safety Interest Group of the Canadian Electricity Association (CEA), a body of various organizations, have sponsored the development of a "Guide to Dam Risk Management". The first part on guiding principles has been issued (Dam Safety Interest Group, 1999), the remaining Parts 2 and 3 are scheduled to be published in 2001 and 2002.

## **Czech Republic**

Since the proclamation of the 1973 water law, all dam owners have been obliged to care for the safety of their dams. The scope and procedures for dam safety checking and surveillance are regulated in a special proclamation valid since 1975. This proclamation meant the establishment of an official systematic care for dam safety based on risk assessment.

These earlier legislative provisions have now been overtaken by the new Water Act, which passed into law in June 2001. Among the purposes of the Act, there are two relevant to dam safety, as follows:

- ensure the safety of water management structures (Section 1.1);
- create conditions for reducing the adverse effects of floods (Section 1.1).

Sections 61 and 62 stipulate the requirements for ensuring the safety of dams and related structures. Dams are classified into four categories according to the risk to human lives, to property and to the functioning of public infrastructure. The Ministry of Agriculture stipulates the requirements for safety supervision, over all phases of the life of a dam, by decree. The foundation for safety supervision is a requirement for regular inspection of dams and submission of reports on their condition to the Ministry of Agriculture.

Planning for mitigation of the effects of floods is covered by Sections 63 to 87 of the Act. These provisions apply to floods caused by dam failure as well as to natural flooding. The provisions stipulate requirements for the preparation of flood plans and assign flood response responsibilities to a hierarchy of agencies from the local level to central Government. Section 84 sets out specific responsibilities of dam owners. For dams with potentially serious failure consequences, dam-break analyses

barrage. Pour les barrages entraînant de graves conséquences potentielles, des analyses de rupture sont obligatoires. La section stipule également la coopération nécessaire avec les agences désignées en cas d'alerte de crue, aussi bien durant la phase de planification qu'en cas d'urgence réelle.

### **Finlande**

Le code de pratiques pour la sécurité des barrages guide la mise en place et la supervision de la Loi pour la sécurité des barrages (413/84) et du décret associé (574/84). Le Code de pratiques pour la sécurité des barrages, publié pour la première fois en 1985, est mis à jour périodiquement, la version actuelle ayant été publiée en 1997. La législation finnoise concernant la sécurité des barrages définit dans son paragraphe 3 les risques en aval selon les dangers pour les personnes et les biens, et les dangers environnementaux importants. Dans son paragraphe 9, la loi mentionne que les dommages causés par une rupture potentielle de barrage doivent être évalués par une analyse de danger. La loi exige également que lorsqu'un danger a été identifié, un plan d'action d'urgence soit préparé. La loi donne au ministère de l'agriculture et de la forêt le pouvoir de fournir des prescriptions complémentaires, sauf pour les activités d'urgence, sous la responsabilité du ministre de l'intérieur.

Une des premières étapes de cette procédure renforcée a été constituée par une classification selon les risques de tous les barrages concernés par cette législation (environ 450). Les barrages présentant un grand risque potentiel en aval ont été identifiés (à l'origine plus de 40). Comme l'exige la loi, tous les barrages de ce type doivent être soumis à une analyse de dommages en cas de rupture. Le contenu et le niveau technique de l'analyse des dangers en cas de rupture ont été définis dans le code de pratique pour la sécurité des barrages. Si cette analyse montre que le niveau de risque attribué lors de la classification est incorrect, il est possible de ramener le barrage en classe normale. Les critères de conception et le programme d'inspection et de surveillance sont moins sévères pour les barrages normaux (N) que pour les barrages présentant un danger élevé (P).

La création d'archives pour la sécurité des barrages a rendu nécessaire un processus de re-conception. Si on découvre que la sécurité d'un barrage n'est pas conforme aux exigences, alors des améliorations structurelles, mécaniques, opérationnelles, etc. doivent être mises en œuvre avant d'être validées lors de l'inspection de base.

À l'exception de ces exigences pour l'appréciation des dangers et pour un niveau égal de normes de sécurité (qui ne permet en pratique que de petites différences dans les probabilités de rupture de tous les barrages finnois très dangereux (P)), la loi ne considère pas l'évaluation des risques. Le Code de pratiques pour la sécurité des barrages présente un chapitre sur l'évaluation des risques du danger (sic), qui traite principalement l'évaluation du danger (conséquence d'une rupture) d'éventuels accidents. Pour estimer les risques d'un barrage, le Centre régional de l'environnement peut demander au constructeur, ou propriétaire d'un barrage, de rédiger une évaluation des risques. La rédaction de cette évaluation doit être conforme au Code de pratiques pour la sécurité des barrages. Pour les barrages P, un plan d'action, prenant en compte différents accidents potentiels, doit être préparé par le propriétaire du barrage conjointement avec l'organisme de sécurité civile.

are mandatory. The section also stipulates the required co-operation with the designated flood emergency response agencies, both during the planning phase and during actual flood events.

## **Finland**

The Dam Safety Code of Practice guides the enforcement and supervision of the Dam Safety Act (413/84) and the Dam Safety Decree (574/84). The Dam Safety Code of Practice, first issued in 1985, is periodically updated, the current version having been issued in 1997. The Finnish dam safety legislation defines in its §3 downstream risks of dams according to danger for loss of life, property losses and significant environmental hazards. In its §9 the law states that the damage-danger, caused by a potential dam-break event has to be evaluated in a dam-break hazard analysis. The law also requires that in the case that a damage danger has been stated, also an emergency action plan has to be prepared. The law assigns the Ministry of Agriculture and Forestry to provide additional clarifications, except the emergency activities, which are the responsibility of the Ministry of the Interior.

As a first step of the Finnish law enforced dam safety procedure was a risk scoring of all dams falling under the legislation (about 450). In this downstream risk scoring procedure, those dams with high downstream hazard potential were defined (originally more than 40). As stipulated in the law all the dams, scored and found to have a high downstream risk potential, had to prepare a damage-danger clarification, based on a dam-break analysis. The content and the technical level of the dam-break hazard analysis were defined in the dam safety code of practice. In cases when the analysis showed that the high risk found by scoring was incorrect a lowering of the high-risk class to the normal dam class was possible. The demands for design criteria, as well as the inspection and surveillance program, are set on a lower level for normal (N) dams than for high hazard (P) dams.

The creation of dam safety files made a re-design process necessary. When it is found that the safety of a dam is not in accordance to the requirements, then structural, mechanical, operational, etc improvements are to be implemented before getting acceptance at the basic inspection.

With the exception of the stated demands for hazard evaluation and the demands for equal level of safety standards (which practically allow only small differences in failure probabilities of all Finnish high hazard (P) dams), the law does not consider risk assessment. The Dam Safety Code of Practice has a chapter on hazard risk assessment (sic), which mainly deals with the hazard evaluation (failure consequences) of potential dam-accidents. To assess the hazard risk of a dam, the regional environment centre may order the party which has the dam constructed, or the dam owner or holder, to draft a hazard risk assessment. The drafting of this assessment is dealt with in the Dam Safety Code of Practice. For P dams, a site plan, taking different potential accidents into account, should be drawn up jointly by the dam owner or holder and the rescue authorities.

## **France**

Il existe des lois et décrets relatifs à la surveillance des barrages et à la planification des alertes, mais ils ne mentionnent pas spécifiquement l'évaluation des risques. Cependant, le Comité national français et le gouvernement publient des textes de guide sur certains aspects de la sécurité des barrages.

## **Allemagne**

Conformément aux lois générales de certains états allemands concernant le contrôle et la prévention des désastres, il est (et il était déjà) nécessaire de traiter les risques présentés par les barrages, décrits en général dans ces lois comme des installations potentiellement dangereuses. La loi saxonne pour la prévention des désastres du 5 mars 1999 demande une estimation des conséquences en cas de catastrophe. Pour cette raison, il est temps de prendre en compte l'évaluation des risques pour les barrages également.

L'unique directive technique « valide » concernant la sécurité des barrages, et abordant l'aspect des crues, est :

- DVWK-Merkblatt 209/1989 « Choix des crues de projets ».

Cette directive exige une analyse des conséquences des crues supérieures à la crue de projet, de manière à déterminer les besoins pour une atténuation ultérieure des risques. Les méthodes permettant d'effectuer cette analyse ne sont pas présentées.

Les nouvelles normes techniques E DIN 19700-10 (Centrales hydroélectriques, Spécifications générales) et E DIN 19700-11 (Centrales hydroélectriques, Barrages) ouvrent une porte à la considération des risques pour la sécurité des barrages, voir Sieber (2000) et sous-section 4.3.2.

Les normes allemandes qui suivent traitent l'analyse des risques, mais ont été développées pour l'industrie en général, et ne sont pas spécifiques aux barrages :

- DIN CEI 56 (Sec) 410 : 1995-03 (Version officielle) « Analyse des risques des systèmes techniques – guide d'application ». Cette norme découle de la normalisation internationale dans le domaine de l'ingénierie électrique, mais elle inclut des spécifications réellement applicables en ce qui concerne la terminologie, les concepts de l'analyse des risques, la mise en œuvre d'une analyse des risques, et les techniques de l'analyse des risques ;
- DIN 25419 « Analyse par arbre d'événements – techniques, symboles graphiques et analyse » ;
- DIN 25424-1 et 2 « Analyse par arbre de défaillances » ;
- DIN 25448 « Mode de défaillance et analyse des effets » ;
- DIN EN 1050 « Sécurité des machines – guide pour l'évaluation des risques ».

## **Italie**

L'Italie n'a pas de guides ou de législation sur l'évaluation des risques. La réglementation des barrages est entrée en vigueur en 1921 et a été régulièrement mise à jour depuis. La réglementation actuelle pour les barrages est très complète et

## **France**

There are laws and decrees relating to dam safety surveillance and emergency planning, but these do not specifically mention risk assessment. However, the French national committee and the government publish general guidelines on some aspects of dam safety.

## **Germany**

With respect to the general laws of some Federal States of Germany regarding disaster prevention and control, it is stated that dealing with risks posed by dams, generally described in these laws as plants with inherent hazards, is (and was really already) a necessity. The Saxonian Law on Disaster Prevention from 5 March 1999 requires estimation of the consequences in the event of a potential catastrophe. From this reason it is time to deal with risk assessment for dams too.

The only “valid” technical guideline with respect to dam safety, at least mentioning risks posed by dams, due to its treatment of floods, is:

- DVWK-Merkblatt 209/1989 “Selection of design floods”.

This guideline requires an analysis of the consequences of floods larger than the assumed design flood, in order to determine the need for further risk mitigation. The methods for carrying out that analysis are not included.

The new revised technical standards E DIN 19700-10 (Dam plants; General specifications) and E DIN 19700-11 (Dam plants; Dams) will open the door for risk considerations with respect to dam safety, see Sieber (2000) and Sub-section 4.3.2.

The following German standards deal with risk analysis, but were developed for industry generally and are not specific to dam engineering:

- DIN IEC 56 (Sec) 410: 1995-03 (Official Draft) “Risk analysis of technical systems-application guide”. This standard arose from the international standardization in the field of electrical engineering, but it includes really generally applicable requirements with respect to terminology, concepts of risk analysis, carrying out risk analysis and techniques of risk analysis;
- DIN 25419 “Event tree analysis – techniques, graphic symbols and analysis”;
- DIN 25424-1 and 2 “Fault tree analysis”;
- DIN 25448 “Failure mode and effects analysis”;
- DIN EN 1050 “Safety of machines – guidelines for risk assessment”.

## **Italy**

Italy has no guidelines or legislation on risk assessment. Regulation for dams was first introduced in 1921 and has been periodically updated. The current regulation for dams is a comprehensive Dam Regulation issued in 1959. The

a été publiée en 1959. La partie technique a été mise à jour en 1982. Les règles techniques concernent la conception, la construction et l'exploitation des barrages. Actuellement des discussions sont en cours pour une nouvelle version de la réglementation, et la possibilité d'introduire un système de classification pour les barrages.

## **Japon**

Les grandes lignes de la construction, de l'exploitation et de la maintenance des barrages sont réglementées par le décret *Directive concernant les normes structurelles des installations de l'administration des rivières...* basé sur la loi concernant les rivières, et tous les propriétaires ou gestionnaires de barrage se conforment à celui-ci.

Ce dernier exige avant tout d'éviter totalement les dommages et pertes de vies humaines dues aux ruptures de barrage. Ceci découle de l'exigence de la société japonaise dans un pays où des crues subites peuvent se produire lors de tempêtes, et où une grande densité de population et d'infrastructures existe en aval des barrages.

L'évaluation de la sécurité des barrages s'effectue principalement par des méthodes déterministes. Cependant, les hypothèses de charge sont définies en partie par des méthodes probabilistes.

Les prescriptions principales sont :

- Le débit de la crue de projet pour les barrages en béton est fixé avec une probabilité de dépassement d'une durée de retour de 200 ans, ou de la crue la plus importante historique, ou de la crue la plus importante extrapolée d'un bassin versant similaire proche. Pour les barrages en enrochement, le débit de la crue de projet est fixé de manière déterministe pour dépasser de 20 % celle des barrages en béton, à cause de leur vulnérabilité au déversement. Pour chaque aménagement, l'objectif de débit pour le contrôle des crues est fixé avec une probabilité de dépassement de cinquante à cent ans, selon le degré de concentration des infrastructures et de la population, et l'amélioration adéquate de cette rivière.
- Le chargement sismique de projet pour les barrages est fixé suivant les statistiques de magnitude et de fréquence régionales pour les tremblements de terre historiques, et le séisme maximal basé sur les failles connues : le Japon est divisé en trois régions (intensité faible, moyenne et haute). Le coefficient de conception sismique dépend de la région concernée, du type de barrage, et de la structure géologique sur le site. La sécurité des barrages lors d'un tremblement de terre est vérifiée par l'analyse statique. De plus, la sécurité des très grands barrages dépassant 100 m de hauteur est vérifiée par l'analyse de réponse sismique. A cette occasion, les caractéristiques de la sollicitation sismique utilisées sont calculées grâce à des traitements statistiques des enregistrements sismiques historiques.

Lors de la maintenance (inspection, amélioration, remplacement, rénovation) des barrages :

- Tous les propriétaires et gestionnaires de barrage préparent des directives couvrant les opérations de maintenance pour le corps du barrage, ainsi que

technical part was updated in 1982. The technical rules are addressed to design, construction and operation of dams. Currently discussions are in progress about an updated Dam Regulation and the possibility to introduce a classification system for dams.

## **Japan**

Basic considerations for the design, construction, operation and maintenance of dams are regulated in the governmental ordinance *Cabinet Order Concerning Structural Standards for River Administration Facilities...* based on the River Law, and all dam owners and managers observe this government ordinance.

The pre-requisite of this government ordinance consists of no occurrence of damages and casualties due to dam failure. This is based on the demand by Japan's society in a country where there are large and sudden storm runoffs and there are also great concentrations of assets and population in many of the areas downstream of dams.

The evaluation of the dam safety is predominantly carried out by the deterministic methods. However, design loads are partially decided by the probabilistic methods.

Key requirements are:

- The design flood discharge for concrete dams is set to be the largest flood discharge out of the exceedance probability of 200 years, the largest recorded flood and the transposed largest flood from the similar basin in the vicinity. For rockfill dams, the design flood discharge is set deterministically to be 20 % larger than that for concrete dams, because of the vulnerability to overtopping. In every dam project, the target discharge for flood control is set to be the flood of exceedance probability of 50 to 100 years, according to the degree of concentration of assets and population and appropriate improvement of this river.
- The design seismic force for dams is set on the basis of dealing statistically with the regional magnitude and frequency of the past earthquake occurrences and the maximum earthquake based on known faults, i.e. Japan is classified into 3 regions (high, middle and low intensity region). The design seismic coefficient is set considering these 3 regions, dam types and geological structure at dam sites. The safety of dams during the earthquake is verified by the static analysis. Furthermore, the safety of large-scale dams over 100m in height is verified by the seismic response analysis. At this time, the design input of earthquake force is set on the basis of statistical treatments of past seismic activity records.

In the maintenance (inspection, improvement, replacement, renewal) of dams:

- All dam owners and managers prepare the guidelines that cover maintenance contents for a dam body, as well as each of the associated facilities and

pour les installations associées. Ces directives couvrent des aspects de type période, composants concernés, normes, etc. basés sur des données statistiques. Les personnes responsables exécutent la maintenance journalière en se conformant à ces directives.

### **Pays-Bas**

Bien que les Pays-Bas ne possèdent pas de grands barrages, une grande partie du pays est protégée contre les inondations par des digues et des ouvrages de rétention d'eau, notamment des ouvrages de la taille de grands barrages (barrières contre les marées de tempête). Après de graves inondations en 1953, ayant provoqué plus de 1 800 victimes, le Comité du Delta a été créé. Ce Comité a proposé des normes de sécurité pour les digues basées sur le principe de l'optimisation économique, (Comité du Delta, 1960 et van Dantzig, 1956). Les normes actuelles sont basées sur les travaux du Comité du Delta et sont formulées sous la forme d'une probabilité tolérable de dépassement d'un niveau d'eau représentatif. Ces normes ont été adoptées par la législation en 1996, dans la loi de défense contre les eaux. Cette loi impose une vérification tous les cinq ans pour les digues. Les directives pour l'évaluation de sécurité donnent la procédure complète à suivre pour cette évaluation quinquennale.

Le Comité de conseil technique pour les ouvrages de rétention d'eau a publié différents guides, décrivant les procédures et critères de conception pour les digues, les dunes et les ouvrages hydrauliques (voir références TAW).

### **Nouvelle-Zélande**

La Nouvelle-Zélande n'a pas de législation spécifique pour la sécurité des barrages. Une autorisation officielle pour la construction et l'exploitation de nouveaux barrages est nécessaire conformément à la loi sur la gestion des ressources. Une étape importante du processus d'autorisation est l'évaluation par les autorités des effets potentiels du barrage du réservoir, et de mesures suffisantes pour éviter, corriger ou atténuer les effets indésirables. La loi sur la gestion des ressources définit les impacts à prendre en compte, notamment tout impact potentiel de haute probabilité, et tout impact potentiel de faible probabilité mais d'effet dévastateur. Une estimation doit être effectuée, conformément à la loi sur la gestion des ressources, pour les risques environnementaux susceptibles de se produire.

La Société néo-zélandaise des grands barrages (NZSOLD) a publié les Directives pour la sécurité des barrages en Nouvelle-Zélande en 1995, et a actualisé celles-ci en novembre 2000. Ses directives ont été rédigées pour assurer une approche appropriée pour les barrages en Nouvelle-Zélande, cohérente avec les prescriptions de la loi sur la gestion des ressources, et autres législations connexes en Nouvelle-Zélande.

### **Norvège**

En 1981, la Direction des ressources en eau et de l'énergie norvégienne (NVE) a publié les premières réglementations sur la sécurité des barrages. Ces réglementations mettaient l'accent sur la conception et la construction des barrages. En 1992, les réglementations de surveillance des barrages ont été publiées,

equipment. The requirements cover such aspects as periods, items, standard etc., which are based on statistical data. The responsible people execute daily maintenance following these requirements.

### **Netherlands**

Although the Netherlands has no large dams, a large part of the country is protected against floods by dikes and water retaining structures, including structures with the size and dimension of large dams (storm surge barriers). After severe floods in 1953, with more than 1800 victims, the Delta Committee was established. This committee proposed safety standards for dikes based on the principle of economic optimization, (Delta Committee, 1960 and van Dantzig, 1956). The current standards are based on the work of the Delta Committee and are formulated in the form of a tolerable probability of exceedance of a representative water level. These standards were adopted into legislation in 1996 with the Water Defence Act. In this law an obligatory 5 yearly check of the dikes has been laid down. The Guideline on Safety Assessment gives the full procedure for this 5 yearly safety assessment.

The Technical Advisory Committee for Water Retaining Structures has published various guidelines, and these describe the design procedures and criteria for dikes, dunes and hydraulic structures (see references by TAW).

### **New Zealand**

New Zealand does not have specific dam safety legislation. Legal consent to construct and operate a new dam or operate an existing dam is required under the Resource Management Act. A key step in the consent process is establishing actual or potential effects of the dam and reservoir, and avoiding, remedying or mitigating adverse effects to the satisfaction of the consenting authority. The Resource Management Act defines effects to include, among other things: any potential effect of high probability, and any potential effect of low probability but high potential impact. An assessment has to be made under the Resource Management Act of the risk (sic) to the environment “likely” to arise.

The New Zealand Society for Large Dams (NZSOLD) produced the New Zealand Dam Safety Guidelines in 1995, and updated these in November 2000. The guidelines have been prepared to ensure a consistent and adequate approach to dam safety in New Zealand, and to be consistent with the requirements of the Resource Management Act and other pertinent legislation in New Zealand.

### **Norway**

In 1981, the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) published the first regulations on dam safety. These regulations were emphasising the design and construction of dams. In 1992, regulations on the supervision of dams were issued which introduced internal control as a principle for safety management.

introduisant le contrôle interne comme principe de gestion de la sécurité. Parallèlement à ceci, la NVE a mis en œuvre d'autres pratiques comme la ré-estimation régulière des barrages, la certification du personnel qualifié et les prescriptions de planification d'urgence. De nouvelles réglementations concernant la sécurité et la surveillance sont entrées en vigueur en 2001, en remplaçant les réglementations précédentes de 1981 et 1992. Des réglementations concernant la classification des barrages et les qualifications de ceux qui les conçoivent, les construisent et les exploitent ont également été publiées en 2001.

Cette nouvelle version des réglementations de sécurité et de surveillance comprend des règles de conception, de construction, de rénovation, d'exploitation et de mise hors service des barrages et autres ouvrages hydrauliques. Les prescriptions sont fonctionnelles et dépendent des classes de conséquences (les barrages sont répartis en trois classes). Les nouvelles réglementations donnent également à NVE le pouvoir légal d'exiger des analyses de risque et des plans d'urgence.

Les textes guides concernant l'analyse des risques pour les barrages, publiés par NVE en 1997, sont toujours en vigueur. Entre autres, ces textes préconisent notamment l'utilisation de l'évaluation des risques pour fixer les priorités des travaux correctifs et pour préparer des plans d'action d'urgence. NVE évalue actuellement le besoin de mettre à jour ces textes. L'association norvégienne de l'industrie électrique a également publié des guides concernant l'analyse des risques, notamment, des conseils sur l'utilisation pratique de l'analyse préliminaire du danger (1999) et des conseils sur l'évaluation des risques pour les barrages et autres ouvrages hydrauliques (2001).

### **Pologne**

Il n'existe actuellement ni textes ni dispositions législatives relatives à l'évaluation ou l'analyse des risques.

### **Portugal**

Les réglementations de sécurité actuelles au Portugal datent des années 1990 (réglementation portugaise pour la sécurité des barrages, 1990, et codes de pratique pour la conception des barrages et pour la surveillance et l'inspection des barrages, datant toutes deux de 1993, codes de construction datant de 1998, et codes d'exploitation, pas encore publiés). Cette législation s'applique à la fois aux barrages nouveaux et existants. Cependant, cette législation ne comprend pas l'évaluation des risques pour les barrages.

### **Russie**

***Législation concernant la sécurité des barrages, relative à l'analyse ou l'évaluation des risques :***

***La loi fédérale sur la sécurité des barrages*** a été publiée en 1997. Elle introduit les notions de *risque admissible de rupture* pour un ouvrage et de *critères de sécurité*, c'est-à-dire de paramètres limites qualitatifs et quantitatifs de la condition de l'ouvrage et de ses conditions d'exploitation correspondant au niveau admissible de risque de rupture.

Along with the introduction of the internal control, NVE introduced other practices such as regular reassessments of dams, approval of qualified personnel and requirements for emergency planning. New regulations on safety and supervision were put into force in 2001, replacing both the previous regulations from 1981 and 1992. Regulations on classification of dams and qualifications of those undertaking the planning, construction and operation of dams were also issued in 2001.

The revised regulations on safety and supervision include rules for design, construction, renewal, operation and decommissioning of dams and other hydraulic structures. The requirements are functional and adjusted to the consequence classes (the dams are divided into three classes). The new regulations also give NVE the legal authority to require risk analyses and emergency plans.

Guidelines on risk analysis for dams, issued by NVE in 1997, are still in force. Among other matters, these guidelines refer to the use of risk assessment for prioritisation of remedial works and preparation of emergency action plans. NVE is currently discussing the need for revision of these guidelines. The Norwegian Electricity Industry Association has also published guidelines on risk analysis; that is, guidelines on the practical use of Preliminary Hazard Analysis (1999) and guidelines on risk assessment for dams and other hydraulic structures (2001).

## **Poland**

There are presently neither guidelines nor legislative provisions related to risk analysis/assessment.

## **Portugal**

Present safety regulations in Portugal date from the beginning of the decade just passed (namely the Portuguese Regulations for Safety of Dams, published in 1990, and Codes of Practice for Dam Design and for Observation and Inspection of Dams, both dating from 1993, Codes for Construction, dating from 1998, and Codes for Operation, still to be issued). This legislation is applied to both new and existing dams. However, this legislation doesn't include the risk assessment of dams.

## **Russia**

### ***Legislation on dam safety with relation to risk analysis or assessment***

The Federal Law *On the safety of dam engineering structures* was issued in 1997. It introduces the notions of *permissible risk of failure* for a structure and *safety criteria*, that is, limit qualitative and quantitative parameters of the condition of a structure and its operation conditions which correspond to the permissible level of risk of failure.

Le décret du gouvernement de la fédération russe, *Approbation de la loi concernant la certification de la sécurité des barrages* est entrée en vigueur en 1998. Il a été préparé conformément à la *Loi fédérale sur la Sécurité des barrages* et détermine les procédures de préparation d'un certificat et d'inspection par l'État.

Un certificat de sécurité est le principal document qui valide la sécurité d'un ouvrage, sa conformité aux critères de sécurité, aux normes actuelles de conception, et détermine la nature et l'ampleur de situations d'urgence éventuelles, et les mesures nécessaires à une exploitation en sécurité.

Selon la loi, un certificat de sécurité doit comprendre une évaluation et analyse de la sécurité d'un ouvrage, notamment les dangers potentiels et l'évaluation des risques pour l'ouvrage par des méthodes qualitatives ou quantitatives. De plus, un certificat doit contenir des informations sur les mesures que l'organisme exploitant l'ouvrage peut prendre pour éliminer les dommages et accidents, et les procédures d'alerte de la population, des autorités et des agences locales du Ministère des situations extrêmes de la Fédération Russe concernant les accidents imminents ou en cours sur un barrage.

#### ***Codes ou documents similaires sur l'analyse ou l'évaluation des risques en Russie :***

Il existe deux documents régulant les procédures d'évaluation et d'analyse des risques pour les barrages en Russie :

- Guide pour effectuer une analyse de risque pour les barrages. – Édité par E.N. Bellendir, S.V. Solsky, N.Ya. Nikitina. – B.E. Vedeneev VNIIG, St. Petersburg, 2000.
- Méthode d'évaluation quantitative rapide du niveau de sécurité des barrages en exploitation. – Édité par I. N. Ivaschenko. – NIIES, Moscou, 1999.

La *méthode d'évaluation quantitative rapide* est basée sur l'opinion des experts concernant l'évaluation et l'analyse des risques, alors que le *Guide* combine les trois approches, statistique, grapho-analytique et l'opinion des experts.

Ces documents sont recommandés par l'Organisme national de supervision de l'énergie (*Gosenergonadzor*) de Russie pour servir de norme pour la préparation de certificats de sécurité pour les barrages. Ils sont également utilisés par l'Organisme de supervision des mines (*Gosgortekhnadzor*) et le Ministère des ressources naturelles car ces organismes n'ont pas encore développé de codes propres.

#### ***Littérature, rapports techniques et documentations sur l'évaluation et l'analyse des risques en Russie :***

Dans le **Guide** (Bellendir *et al.*, 2000) les principaux principes, la terminologie, et les définitions de l'analyse des risques d'accident pour les barrages, les prescriptions pour le processus d'analyse des risques, le format des résultats de l'analyse des risques et les principales méthodes pour effectuer une analyse des risques pour des barrages de différents types, classes et fonctions sont tout d'abord présentés. Le **Guide** a été développé pour assurer une approche unique et une grande qualité de planification, d'exécution, et de production des résultats des risques d'accident pour les barrages.

The Decree of the Russian Federation Government *On approving the Act on licensing safety of dam engineering structures* was issued in 1998. It was prepared in compliance with the Federal Law *On the safety of dam engineering structures* and determines content and procedures of preparing a safety license and inspecting it by the state.

A safety license is the main document which validates safety of a structure, its compliance to safety criteria, design, current technical standards and codes and determines nature and scale of possible emergency situations and measures for ensuring safe operation.

According to the Act, a safety license should contain analysis and assessment of safety of a structure, including possible hazards and risk assessment for the structure by qualitative or quantitative methods. In addition, a license should contain information about measures, which the body operating the structure can take to isolate and eliminate dangerous damage and accidents, and procedures of warning the population, executive authorities and local agencies of the Ministry of Extreme situations of the Russian Federation about imminent or actual accidents at a dam structure.

### **Codes or similar documents on risk analysis or assessment in Russia**

There are two departmental documents, which regulate procedures of risk analysis and assessment for dams in Russia:

- The Guidelines on performing Risk of Accidents Analysis for Dams. – Under edition of E.N. Bellendir, S.V. Solsky, N.Ya. Nikitina. – The B.E. Vedenev VNIIG, St. Petersburg, 2000.
- The method of quick quantitative assessment of safety level of dam engineering structures in operation. – Under edition of I. N. Ivaschenko. – NIIES, Moscow, 1999.

The *method of quick assessment* is based on the expert opinion approach to risk analysis and assessment, whereas the Guidelines combine all of the three approaches, statistical, grapho-analytical and expert opinion.

The documents are recommended by The State Energy Supervision (*Gosenergonadzor*) of Russia as the standards for preparing safety licenses for dam engineering structures. They are also used in The State Mining Supervision (*Gosgortekhnadezor*) and The Ministry of Natural Resources because their own departmental codes have not been developed yet.

### **Literature, technical reports or documents on risk analysis and assessment in Russia**

In the **Guidelines** (Bellendir *et al.*, 2000) the main principles, terminology and definitions of risk of accidents analysis for dams, the requirements on risk analysis process and format of risk analysis results, and principal methods of performing risk analysis for dams of various types, classes and functions, are first formulated. The **Guidelines** have been developed in order to ensure a single approach and high quality of planning, performing and drawing up results of risk of accidents analysis for dams.

Le guide est conçu pour être utilisé par :

- Le personnel opérationnel des entreprises de production énergétique de la Fédération Russe qui possèdent, exploitent ou sont responsables des barrages ;
- Les organisations effectuant des recherches en ingénierie hydraulique ;
- Les centres d'expertise sur la sécurité des barrages ;
- Les agences de Gosenergonadzor, Gosgortekhnadzor, le Ministère des ressources naturelles, le Ministère des transports et le Ministère des situations extrêmes de Russie, qui sont chargés de la surveillance des barrages ;
- Les sociétés d'assurance, d'audit et d'évaluation.

Le Guide peut être utilisé pour effectuer une analyse des risques pour tous types de barrage, quelle que soit leur fonction, et notamment des ouvrages d'entreprises (organisations) de Gosenergonadzor du Ministère de l'énergie, de Gosgortekhnadzor du Ministère des transports et du Ministère des ressources naturelles de Russie.

L'article de Gulyaev *et al.* (2001) expose une méthode pour analyser la sécurité de systèmes complexes techniques. Sont cités les impacts négatifs exercés par les pipe-lines de gaz sur les installations hydro-techniques, et vice-versa pendant leur construction et leur exploitation. On présente les résultats de l'application de la méthode développée à un exemple concret de système présentant des interactions entre nature et technique : Pipe-line gaz champ UDS Fedorovskoye – Centrales énergétique Surgut 1,2 – Installations hydroélectriques de la centrale 2 de Surgut.

L'article de Radkevitch *et al.* (1997) propose une méthode d'évaluation rapide par les experts du niveau de sécurité des ouvrages hydrauliques en exploitation. L'évaluation s'effectue en comparant deux groupes de facteurs de sécurité. Le premier groupe contient des paramètres pris en compte lors de la conception et ajustés lors de la construction, de l'exploitation, des réparations et des modernisations de l'ouvrage analysé. Le second groupe contient les paramètres actifs au moment de l'inspection de l'ouvrage. Les facteurs de sécurité sont des paramètres quantitatifs et qualitatifs se rapportant à la condition de l'ouvrage, aux impacts naturels et aux dommages possibles entraînés par une défaillance de l'ouvrage. La méthode est capable de prendre en compte des facteurs quantitatifs et qualitatifs variés en les projetant sur une échelle unique (par classification). L'ensemble des facteurs de sécurité et la manière de les affecter à un ouvrage spécifique sont décrits.

## **Afrique du sud**

La République d'Afrique du Sud n'a pas de législation relative à l'analyse des risques. La seule mention de l'analyse des risques apparaît dans la phrase « des barrages présentant un risque de sécurité » qui apparaît souvent dans la législation.

Le Département d'État de l'Eau et de la Forêt (DWAF) n'est pas enclin à publier des « guides » par peur qu'il se transforme immédiatement pour les utilisateurs en « recettes instantanées » ou même pire en « codes de pratiques ». Il existe cependant une feuille de calcul Excel en interne qui permet d'aider l'analyste à présenter ses conclusions de manière normalisée. Une méthode pour l'évaluation

The Guidelines are designed for use by:

- operational personnel of energy production enterprises of the Russian Federation which own, operate or are in charge of dams;
- water engineering research and design organizations;
- expert centres on dam safety;
- agencies of Gosenergonadzor, Gosgortekhnadzor, the Ministry of Natural Resources, the Ministry of Transportation and the Ministry of Extreme Situations of Russia which execute surveillance on the safety of dams;
  
- insurance, audit and valuation agencies.

The Guidelines may be used for performing risk analysis for dams of all types, classes and functions, including structures of enterprises (organizations) of Gosenergonadzor of the Ministry of Energy, Gosgortekhnadzor, the Ministry of Transportation and the Ministry of Natural Resources of Russia.

The publication by Gulyaev *et al.* (2001) reviews a method for analysing the safety of complex nature-technical systems. Identified are possible negative influences of gas pipeline and hydro-technical facilities on each other during the construction and operation periods. Presented are results of the application of the developed method related to the concrete example of nature-technical system: gas pipe-line UDS Fedorovskoye field – Surgut Power Supply Stations 1,2 – Surgut Power Supply Station 2 hydro technical facilities.

The publication by Radkevitch *et al.* (1997) proposes a method of quick expert evaluation of the safety level of water engineering structures in operation. The evaluation is made through comparing two groups of safety factors. The first group contains factors taken into account in design and adjusted during construction, operation, repair and upgrades of the analysed structure. The second group contains factors, which act at the time of inspecting the structure. The safety factors are understood as quantitative and qualitative parameters of the condition of the structure, natural impacts and possible damage from a failure of the structure. The method has a capacity to take into account various quantitative and qualitative safety factors by reducing them to a single scale (by ranking). The framework of the safety factors and ways of assigning them for a particular structure are described.

## **South Africa**

In principle the Republic of South Africa has no legislation relating to risk analysis specifically. The closest it gets to risk analysis is the wording “dams with a safety risk” which appears often in the dam safety legislation.

The main reason why the state Department of Water Affairs and Forestry (DWAF) refrained from ‘guidelines’ is the fact that it has the habit of becoming ‘instant recipes’ or even worse “codes of practice”. However, there is an in-house Excel spreadsheet available to help the analysts with the presentation of their findings in a standardized manner. Also a method for the probabilistic evaluation of

probabiliste a été développée, ainsi que des critères pour guider les décideurs. Un article a été écrit à ce sujet par Oosthuizen (2000).

### **Suède**

La législation suédoise pour la gestion de la sécurité publique mentionne l'analyse et la caractérisation des risques pour les principaux dangers menaçant les personnes, les biens et l'environnement. De plus, les propriétaires d'installations dangereuses sont de plus en plus incités à identifier les dangers, estimer les risques, et rédiger un rapport démontrant comment les risques seront évités, ou au moins contrôlés, et à mettre en place un système de gestion de la sécurité pour la mise en œuvre et la maintenance de ces mesures. Les propriétaires de barrage sont responsables des conséquences de rupture de leurs ouvrages.

Il n'existe pas de texte de référence pour l'analyse des risques en Suède. Cependant, un des objectifs d'études pilotes en cours est d'établir une méthodologie pour de futures analyses des risques.

### **Suisse**

Le terme « risque » n'existe pas dans les trente-trois articles du décret d'application de la législation suisse pour la sécurité des barrages. Celle-ci s'appuie sur une surveillance méticuleuse et une planification des urgences. Le concept de sécurité suit les principes d'une approche de gestion des risques sans le mentionner explicitement la législation.

### **Thaïlande**

Il n'existe pas de réglementation pour la sécurité des barrages, ni de pratique normalisée. L'opérateur énergétique thaïlandais (EGAT) a publié une réglementation pour l'inspection et l'évaluation de sécurité des barrages (EGAT, 1982).

### **Turquie**

La Turquie n'a pas de législation spécifique pour la sécurité des barrages. Ce domaine est couvert par la législation générale.

### **Royaume-Uni (McGrath, 2001b)**

La législation est entrée en vigueur en 1930 à la suite de la rupture du barrage de Coedy au Pays de Galles, avec la Loi sur les réservoirs (dispositions de sécurité). En 1975, la législation a été remplacée par une Loi sur les réservoirs qui s'applique aux grandes retenues. Les domaines de responsabilité de la loi sont répartis entre les propriétaires, les municipalités, les ministères et des ingénieurs qualifiés en génie civil. La réglementation n'est pas technique, dans la mesure où des niveaux spécifiques de sécurité ne sont pas mentionnés.

Malgré son rôle actuel mineur pour la sécurité des barrages, il est judicieux de prendre en compte les activités du Health and Safety Executive (HSE). Le développement d'un cadre de tolérabilité des risques pour les industries dangereuses peut-être intéressant pour la sécurité des barrages dans le futur. Le HSE a présenté récemment un rapport sur la politique des risques (HSE, 2001) et les risques sociétaux (Ball and Floyd, 1998).

dams, as well as criteria to guide decision-makers, have been developed. These have been described in a paper by Oosthuizen (2000).

### **Sweden**

Swedish legislation for public safety management makes specific reference to risk analysis and risk characterization for major hazards to people, property and the environment. Further, and increasingly, owners of hazardous facilities are required to identify the hazards, assess the risks, prepare a safety case demonstrating how risks will be prevented or otherwise controlled, and set out a safety management system showing how the safety case will be implemented and maintained. Dam owners are liable for the consequences of failure of their dams.

There is no agreed guideline for risk analysis in Sweden. However, one objective of some current pilot studies is to establish a methodology for future risk analysis.

### **Switzerland**

Risk is a term that doesn't exist in the 33 articles of the Executive Decree of Swiss dam safety legislature. The legislation relies on meticulous surveillance and emergency planning. The safety concept follows the principles of a risk management approach without mentioning it explicitly in the legislation.

### **Thailand**

No dam safety regulation or any standard practice is in force for safety of dams. The Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) has issued a regulation for inspection and safety evaluation of dams (EGAT, 1982).

### **Turkey**

Turkey does not have specific dam safety legislation. These issues are covered under the General Legal Legislations in Turkey.

### **United Kingdom** (from McGrath, 2001b)

Legislation was introduced in 1930 following the failure of Coedy Dam in Wales with the Reservoirs (Safety Provisions) Act. In 1975 the legislation was superseded by the Reservoirs Act, which applies to large reservoirs. The areas of responsibility in the Act are divided between owners, councils, government departments and panels of qualified civil engineers. The regulation is non-technical in that specific levels of safety are not stated.

Although they have only a minor role in dam safety at this time, it is worthwhile considering the activities of the Health and Safety Executive (HSE). The development of a tolerability of risk framework for hazardous industries can be interesting in considering dam safety in the future. HSE has recently reported on risk policy (HSE, 2001) and societal risk (Ball and Floyd, 1998).

## **États-Unis**

Il n'existe de dispositions législatives autres que la loi nationale sur la sécurité des barrages. De nombreux textes de référence ont été publiés par les organisations qui suivent :

### ***United States Bureau of Reclamation (USBR)***

L'USBR a publié un texte pour la protection publique destiné aux décideurs concernés par la sécurité des barrages (US Bureau of Reclamation, 1997 et 2003). L'USBR a également publié un document méthodologique qui contient des conseils pour l'analyse des risques pour les barrages (US Bureau of Reclamation, 1999). L'USBR utilise un système à deux niveaux pour estimer si les risques calculés sont acceptables ou non. Les références pour le niveau 1 limitent la valeur attendue des pertes humaines annuelles dues à une rupture de barrage. Pour le niveau 2, l'USBR recommande que chaque barrage individuel ait une probabilité maximale de rupture de 1 pour 10 000 par an.

### ***État de Washington***

La méthodologie orientée risques appliquée par l'État de Washington a été décrite dans le document de Johnson et La Vassar (2000). La législation ne donne pas directement de directives pour cette méthode, mais elle prévoit l'établissement de directives pour la sécurité des barrages. Leur approbation s'effectue au niveau du State Government Department.

### ***Californie***

La réglementation de la sécurité des barrages en Californie est basée sur les normes. Après la rupture du barrage de St Francis en 1928, la législation a été renforcée, et englobe la surveillance des barrages non fédéraux de l'État. Après la rupture du barrage de Baldwin Hills en 1963, la législation a été modifiée pour inclure les réservoirs ne se trouvant pas sur les cours d'eau. La législation impose une autorisation pour la construction de nouveaux barrages ou pour la modification des barrages existants, la surveillance des travaux et de l'exploitation et de la maintenance.

### ***US Army Corps of Engineers***

L'USACE a publié des prescriptions et des procédures pour l'analyse des risques. Certaines références sont présentées dans la sous-section 7.2.

## **Yougoslavie**

En 1997 le Comité technique pour la sécurité des barrages en Yougoslavie a publié une méthodologie pour la classification des barrages suivant leurs dangers potentiels (YUCOLD, 1997).

## **Chypre, Grèce, Libye**

Il n'existe pas de législation ou de textes de référence dans ces pays.

## **United States**

There are no relevant legislative provisions other than the National Dam Safety Act. Various guidelines have been given by the following organizations:

### ***United States Bureau of Reclamation (USBR)***

USBR has published a guideline for public protection in dam safety decision-making (US Bureau of Reclamation, 1997 and 2003). The USBR has also published a methodology document, which contains guidelines on the methodology of dam safety risk analysis (US Bureau of Reclamation, 1999). USBR uses a two-tier system to assess whether the calculated risks are acceptable or not. The Tier 1 guidelines limit the expected value of annual loss of life due to dam-break. The Tier 2 guideline relates to public trust whereby Reclamation recommends that each individual dam should have a maximum probability of failure of 1 in 10,000 per year.

### ***Washington State***

The risk-based framework, as applied by Washington State, has been described in the guideline document by Johnson and La Vassar (2000). The guidelines for this method are not directly referred to in the legislation, but the legislation provides for the establishment of guidelines for dam safety. The acceptance or otherwise of guidelines is at the State Government Department level.

### ***California***

Dam safety regulation in California is standards-based. Following the failure of St Francis dam in 1928, legislation was strengthened, providing for supervision over non-federal dams in the State. Following failure of the Baldwin Hills dam in 1963, the legislation was amended to include off-stream storages. The legislation provides for new dam or existing dam modification approvals, supervision of works and operation and maintenance.

### ***US Army Corps of Engineers***

The USACE has published requirements and procedures for risk analysis. Some references have been given in Sub -section 7.2.

### ***Yugoslavia***

In 1997 the Technical Committee for dam safety in Yugoslavia published a methodology for ranking of dams according to the hazardous potential (YUCOLD, 1997).

### ***Cyprus, Greece, Libya***

No legislation / guidelines were given by these countries.

#### 4.4.2. Recherches en cours

##### Australie

De très importantes recherches ont été entreprises sur la probabilité annuelle de dépassement de tempêtes et de crues extrêmes, (cf. Nathan et Weimann, 1999). A l'Université de Nouvelle Galles du Sud, des recherches ont été consacrées à la probabilité de rupture suite à un phénomène de renard dans des barrages en matériaux meubles (cf. références par Foster *et al.*), et à la probabilité de rupture de barrages en béton et en maçonnerie (cf. références par Douglas *et al.*). Ce travail est poursuivi parallèlement à des recherches sur la probabilité de ruptures de talus.

L'ANCOLD et un certain nombre de ses organisations membres financent des recherches sur des procédures améliorées d'estimation des pertes en vies humaines suite à une rupture de barrage. Ce travail est entrepris à l'université de *Utah State* (McClelland et Bowles, 1999).

##### Brésil

Le Comité Brésilien des Barrages dispose d'une commission dédiée à l'analyse de la sécurité et des risques des barrages. L'Agence Nationale de l'Eau – ANA a décidé d'établir et de diriger un Système National pour la Sûreté des Barrages.

##### Canada

Actuellement, BC-Hydro se concentre sur les activités de recherche ci-après relatives à la gestion des risques créés par les barrages :

1. Le fondement scientifique des divers aspects de l'analyse des risques ;
2. L'incertitude entourant les estimations des conséquences d'une rupture de barrage ;
3. Les objectifs à atteindre fixés après évaluation des risques en cas de crues et de séismes extrêmes ;
4. La valeur d'une surveillance basée sur la performance pour une atténuation effective des risques ou mesure de contrôle des risques ;
5. Le développement d'un cadre structurant les objectifs à atteindre au niveau des barrages et des décisions sous incertitude relatives à la sécurité des barrages.

L'*Ontario Power Generation* a entrepris deux programmes de recherches, à savoir l'intégration d'une procédure AMDE dans les révisions périodiques de sûreté des barrages s'appuyant sur les normes existantes, et l'application de l'AMDE aux Plans de Surveillance des Barrages.

Hydro-Quebec a réalisé de nombreuses études de R&D relatives à l'évaluation des risques ou à l'approche après appréciation des risques. Ces études ont été réalisées en collaboration avec des universités du Québec et EDF (France). Les points étudiés sont les phénomènes menant à une rupture de barrage, le développement d'un logiciel dédié à la détermination des conséquences d'une crue et la mise en place d'un système donnant la priorité à la vigilance, la surveillance et la maintenance (Chouinard, 1998).

## 4.4.2. Research in progress

### Australia

Considerable research has been undertaken into the annual exceedance probability of extreme storms and floods, (see Nathan and Weimann, 1999). At the University of New South Wales, there has been research into the probability of failure from piping of embankment dams (see references by Foster *et al.*), and the probability of failure of concrete and masonry dams (see references by Douglas *et al.*). This work is continuing, along with research into the probability of slope failures.

ANCOLD and a number of its member organizations are sponsoring research into improved procedures for estimating loss of life from dam failure. This work is being undertaken at Utah State University (McClelland and Bowles, 1999).

### Brazil

The Brazilian Committee on Dams has a commission for safety and risk analysis for dams. The National Agency of Water – **ANA** has decided to establish and control a National System for Dam Safety.

### Canada

Currently BC Hydro is focussed on the following research activities related to dam risk management:

1. The scientific basis for various aspects of risk analysis;
2. The uncertainty around estimates of dam-break consequences;
3. Risk-based performance goals for extreme floods and earthquakes;
4. The value of performance based surveillance as an effective risk mitigation or risk control measure;
5. The development of an overarching framework for performance goals for dams and for dam safety decisions under uncertainty.

The *Ontario Power Generation* has undertaken two research programs, namely the incorporation of an FMEA process in the standards-based periodic dam safety reviews, and the application of FMEA to the Dams Performance Monitoring Plans.

Hydro Quebec has performed many R&D studies related to risk assessment or risk-based approach. This has been done in relation with Universities in Quebec province and EDF (France). Issues studied are the dam-break formation, the development of software to determine the consequences of the flood, and the setting up of a system to prioritise attention, surveillance and maintenance (Chouinard, 1998).

## **Finlande**

En 1999 et 2000, le projet RESCDAM financé par l'UE a été mené en Finlande sous la direction de l'Institut Finlandais de l'Environnement. Le projet se compose de trois parties principales :

1. L'évaluation des risques, y compris l'estimation des probabilités de rupture, les impacts en fonction de la gravité de la crue, la date, l'heure et l'emplacement de la rupture ainsi que l'impact sur la perte en vies humaines et sur les pertes matérielles ;
2. L'analyse de l'onde de rupture de barrage ;
3. La planification et la préparation des mesures d'urgence/opérations de sauvetage.

L'Institut Finlandais de l'Environnement a remis son rapport final en juin 2001.

Ce dernier comprend un projet pilote mené en Finlande pour lequel une analyse des risques a été préparée. Cette analyse considère différents scénarii de ruptures de barrage ainsi que leurs causes de déclenchement. Une analyse par arbre d'évènements a été préparée en vue d'évaluer les probabilités de rupture. Les mêmes évènements ont été utilisés pour définir les zones de différente efficacité d'alerte et, sur cette base, différents scénarios de pertes en vies humaines. Une division de la zone totale d'inondation en sous-ensembles a été effectuée en fonction de la propagation de l'onde de crue, la densité d'occupation de la population menacée et les exigences opérationnelles de l'organisation des secours. Les mesures d'urgence ont été développées en parallèle à l'étude de la propagation de la crue et des impacts. La gravité de la crue a été définie à l'aide d'un paramètre danger/dommages de la crue (profondeur de l'eau multipliée par vitesse du flot). Plusieurs modèles de réseau dynamiques 1D et plusieurs modèles dynamiques 2D considérant la surface sèche initiale et le flux à travers les zones urbaines ont été utilisés. Le travail technique se basait sur des modèles numériques terrain/ville ainsi que sur l'utilisation de registres publics et d'un système d'information géographique.

La présentation des résultats a été réalisée avec des outils d'animation récents, à l'aide d'images 3D du terrain et de la ville sur lesquels les épisodes de crue ont été superposés. Ces méthodes de présentation se sont avérées précieuses lors des débats sur la gravité de l'onde de rupture de barrage avec les représentants des secours, ainsi que lors des réunions d'information publiques.

Des recommandations visant à actualiser le code de bonne pratique finlandais relatif à la sûreté des barrages sont incluses dans le rapport final du RESCDAM. Des études concernant l'intégration de l'évaluation des risques dans la prochaine édition du code de bonne pratique de sécurité des barrages sont contenues dans ces recommandations.

L'Institut Finlandais de l'Environnement (adresse : P.O.Box 140 FIN-00251 Helsinki, Finlande) a publié le rapport final du projet RESCDAM en avril 1991 ; qui est également disponible sur <http://www.vyh.fi/eng/research/euproj/rescdam/rescdam.htm>

## **France**

De nombreuses études portant sur l'évaluation des risques pour un ensemble de barrages ont été publiées. En règle générale, les auteurs décrivent des méthodes simplifiées basées sur des procédés d'indexation avec facteurs combinant quelques points clés (à titre d'exemple, voir De Laleu *et al.*, 2000). De toute évidence, ces

## **Finland**

In Finland the EU funded RESCDAM project has been carried out under the supervision of the Finnish Environment Institute during the years 1999 and 2000. The project consists of three main parts:

1. Risk assessment including the assessment of failure probabilities, impacts due to flood severity, time of failure and location of failure, and the impact on loss of life and loss of property;
2. Dam-break flood analysis;
3. Emergency/rescue action planning and preparedness.

The Finnish Environment Institute finished the final report in June 2001.

The final report includes a pilot project in Finland for which a risk analysis has been prepared. This analysis takes into account different scenarios of dam-break cases and their initiating causes. An event tree analysis has been prepared to evaluate failure probabilities. The same events have been used for definitions of areas of different warning effectiveness and based on it different loss of life scenarios. A division of the total inundation area into sub-areas considered flood wave propagation, living density of the population at risk and operational demands of the emergency organization. The emergency preparedness plan was developed in parallel with flood routing and impact analysis. The flood severity was defined with a flood damage-danger parameter (water depth times flow velocity). Different 1D dynamic network models and different 2D dynamic models considering initially dry surface and flow through urban areas were used. The technical work was based on numerical terrain/city models as well as the use of public registers and a geographic information system.

The presentations of the results were conducted with modern animation tools, using three-dimensional images of the terrain and city, on which the flood events were superimposed. These methods of presentation proved to be valuable when discussing the severity of the dam-break flood with emergency officials and in public information meetings.

Recommendations for updating the Finnish Dam Safety Code of Practice are included in the final RESCDAM report. Considerations on including risk assessment in the next up-coming issue of the Code of Practice are included in these recommendations.

The Finnish Environment Institute (Address: P.O.Box 140 FIN-00251 Helsinki, Finland) issued the final report of the RESCDAM project in April 1991. It is also available from <http://www.vyh.fi/eng/research/euproj/rescdam/rescdam.htm>

## **France**

Many studies based on portfolio risk assessment have been published. Generally, the authors describe simplified methods based on index systems, with factors combining some key points (for example, see De Laleu *et al.*, 2000). These methods can obviously give biased results. But they are considered as giving a

méthodes peuvent donner des résultats biaisés. On considère cependant qu'elles fournissent un résultat suffisamment satisfaisant et opérationnel à un prix raisonnable (De Laleu *et al.*, 2000).

Une des méthodes de recherche d'évaluation des risques est la création de bases de données sur les incidents ou les ruptures de barrage visant à fournir quelques éléments en vue de l'approche probabiliste (cf. Fry *et al.*, 2000).

Des activités de recherche dans le domaine de l'analyse des risques se basent sur la modélisation fonctionnelle et appliquent une méthodologie dérivée de la théorie de la fiabilité – AMDE. Ce travail propose des méthodes permettant d'assister les tâches de diagnostic et d'analyse des risques au sein d'une approche de système expert. Il sert aux ingénieurs spécialisés durant le diagnostic préliminaire ou la synthèse d'études requises. L'approche utilisée se base sur l'exploitation des connaissances des experts et du retour d'expérience. Elle se compose de trois parties :

- Un modèle fonctionnel de vieillissement, établi à l'aide de la méthode AMDE, adapté au contexte du barrage et utilisant une représentation graphique causale. Cette modélisation représente des scénarios de vieillissement aboutissant à la perte de fonctions ;
- Une méthode qualitative destinée à consigner l'historique du vieillissement du barrage et à représenter les mécanismes de perte progressive de qualité ;
- Des méthodes qualitatives destinées à estimer la criticité de perte de qualité des barrages et de leurs composants.

Une base de connaissances relatives au vieillissement du barrage, ainsi que la première partie d'une base de données des antécédents de vieillissement de barrages ont été éditées. Ce travail est détaillé dans Royet *et al.* (2000), Peyras *et al.* (2002) et Peyras (2003).

## **Allemagne**

En Allemagne, de nombreuses universités et de nombreux chercheurs ont traité et traitent toujours des risques posés par les barrages. Dans la plupart des cas, les activités se sont concentrées sur la sûreté hydrologique des barrages ; toutefois des études plus complexes sont en cours, cf. à titre d'exemple Rettmeier *et al.* (2000). Les principales études entreprises ces dix dernières années sont listées ci-dessous :

- Plate (1985) a développé un modèle conceptuel de l'analyse de la sûreté hydrologique des barrages, y compris le calcul de rupture en cas de submersion d'un barrage ;
- Rissler (1988) a décrit une étude de sûreté probabiliste pour les barrages en remblais ;
- Wittke *et al.* (1995) ont réalisé des études de sécurité pour les barrages en remblai sur une base probabiliste, appliquées au barrage de Schmalwasser en Thuringe à titre d'exemple ;
- Martin et Pohl (1998) et Pohl (1999) ont étudié l'estimation de la probabilité de rupture hydraulique-hydrologique de barrages et la conception de revanches sur les barrages. Les méthodes ont été appliquées avec succès à plusieurs barrages allemands (principalement en Saxe) ;

quite satisfactory and operational result at a reasonable cost (see De Laleu *et al.*, 2000).

One way of risk assessment research is the creation of databases on dam incidents or failures in order to give some elements for the probabilistic approach (see Fry *et al.*, 2000).

There are activities of research in the field of risk analysis based on functional modelling and using a methodology derived from reliability theory – FMEA. This work proposes methods to support diagnosis and risk analysis tasks, within an expert systems approach. It is used for specialised engineers during preview diagnosis or synthesis of needed studies. The approach used is based on capitalising on the experts' knowledge and feedback. It is composed of three parts:

- an ageing functional model, built up with the FMEA method, adapted to dam context and using a Causal Graph representation. This modelling represents ageing scenarios leading to loss of functions;
- a qualitative method to write dam ageing history and to represent mechanisms of progressive performance loss;
- qualitative methods to assess the criticality of performance loss of dams and their components.

A knowledge database about dam ageing and the first part of a database of dam ageing histories have been produced. This work is detailed in Royet *et al.* (2000), Peyras *et al.* (2002) and Peyras (2003).

## **Germany**

Several German universities and individuals have dealt and with and still deal with risks posed by dams. Activities were concentrated on hydrological safety of dams in most cases, but more complex studies are underway, see for instance Rettemeier *et al.* (2000). The main investigations, which were done in the last ten years, are listed below:

- Plate (1985) developed a conceptual model of hydrologic dam safety analysis including the calculation of failure by overtopping of a dam;
- Rissler (1988) described a probabilistic safety investigation for embankment dams;
- Wittke *et al.* (1995) studied safety investigations for fill dams on a probabilistic basis, applied on the Schmalwasser Dam in Thuringia as an example;
- Martin and Pohl (1998) and Pohl (1999) studied the estimation of the probability of hydraulic – hydrological failure of dams and the freeboard design at dams. The methods were applied on several German (mostly Saxonian) dams with success;

- Rettemeier *et al.* (2000) ont décrit de nouvelles tendances d'évaluation des risques pour les barrages en Allemagne et proposé un diagramme F-N spécifique allemand qui doit être débattu plus avant.

### **Italie**

Des recherches ont été menées par des organisations spécialisées dans le domaine de la recherche appliquée. Certaines recherches étaient destinées à vérifier la possibilité d'appliquer en Italie les méthodes utilisées dans d'autres pays pour évaluer les conséquences de ruptures. Elles ont soulevé la nécessité de réviser et de simplifier les méthodologies, en tenant compte du type, de la quantité et du détail des données disponibles.

Des recherches sont actuellement menées par l'ENEL en vue de développer des outils d'indexage du risque afin d'aider à la hiérarchisation des tâches de maintenance, de réparation et d'évaluation sur les barrages, basée sur l'identification des déficiences potentielles de l'état du barrage et le classement de l'importance globale de ces déficiences selon la sécurité de la structure.

### **Japon**

En janvier 2001, le JCOLD a constitué un comité pour discuter de l'évaluation des risques dans la gestion de la sécurité. La recherche de base est menée au Japon depuis cette date.

### **Pays-Bas**

Un programme de recherches, le « Marsroute of the Technical Advisory Committee for Water Retaining Structures » (TAW), travaille actuellement sur le développement de techniques fiables pour l'estimation des probabilités de rupture. Une méthode développée a été testée sur quatre polders (TAW, 2000). Dans les prochaines années, la probabilité d'inondation sera calculée pour tous les polders des Pays-Bas.

Dans le Pilot Case Flood Risk (van Manen, 2001), il a été examiné s'il est possible de calculer le risque d'inondation d'un polder existant aux Pays-Bas à l'aide des connaissances actuelles et des modèles disponibles.

D'autres recherches sur le thème du risque de crue sont menées par le Delft Cluster, un organisme de recherche regroupant diverses organisations. Les sujets étudiés au Delft Cluster sont les contraintes sur les défenses contre les inondations, la résistance de celles-ci et les mécanismes de rupture, les conséquences des inondations et l'acceptabilité des risques. Des recherches approfondies sur le thème des risques (d'inondation) acceptables ont été menées par Vrijling (cf. à titre d'exemple, Vrijling, 2001).

### **Nouvelle-Zélande**

L'Association des grands barrages néo-zélandaise encourage la diffusion du travail en cours dans cette région grâce à des conférences, parfois en collaboration avec l'ANCOLD. Un certain nombre de propriétaires de barrages en Nouvelle-Zélande ont fourni des données en vue d'aider les recherches entreprises en Australie ; il s'agit par exemple, de données liées aux possibilités de renard dans les barrages en terre.

- Rettemeier *et al.* (2000) describe new trends of risk assessment for dams in Germany. It includes a first proposal for a special German F-N diagram that has to be discussed further.

### **Italy**

Research activities are carried out by organizations working in the applied research field. Some researches were addressed to verify the possibility to apply in Italy the methodologies used in other countries for the evaluation of the failure consequences, and they pointed out the need for revised and simplified methodologies, taking into account type, quantity and detail of the available data.

Researches are currently in progress by ENEL, to develop risk indexing tools to assist in the prioritisation of maintenance, repair and evaluation tasks on dams, based upon identifying potential deficiencies in the physical condition of the dam and rating the overall importance of these deficiencies to the safety of the structure.

### **Japan**

JCOLD established the sectional committee to discuss risk assessment in dam safety management in January 2001. The basic research has been conducted in Japan from that time on.

### **Netherlands**

A research program, the Marsroute of the Technical Advisory Committee for Water Retaining Structures (TAW), is working towards the development of reliable techniques to estimate failure probabilities. A method developed has been tested on four polders (TAW, 2000). In the next years the probability of flooding will be calculated for all polders in the Netherlands.

In the Pilot Case Flood Risk (van Manen, 2001) it has been examined whether it is possible to calculate flood risk of an existing polder in the Netherlands using the current knowledge and available models.

More research on the theme of flood risk is undertaken by the Delft Cluster, a research body of various organizations. Subjects studied in Delft Cluster are the loads on flood defences, the strength of flood defences and failure mechanisms, the consequences of floods and the acceptability of risks. Extensive research on the subject of acceptable (flood) risks has been done by Vrijling (see for example, Vrijling, 2001).

### **New Zealand**

The New Zealand Society on Large Dams encourages dissemination of current work in this area through conferences, including combined conferences with ANCOLD. A number of dam owners in New Zealand have provided data to assist research being undertaken in Australia; for example, related to piping potential in earth dams.

## **Norvège**

Des recherches approfondies sont actuellement menées en Norvège sur la stabilité et la formation de brèches sur des barrages en enrochement. Ces travaux sont organisés en deux projets, un projet national et un sous projet au sein d'un projet approfondi de l'Union Européenne (UE). Ce dernier est intitulé IMPACT – amélioration des connaissances pour l'analyse/la probabilité de risques de rupture en cas de submersion et pour l'analyse de danger d'une rupture de barrage. Le projet améliorera considérablement notre connaissance et notre compréhension liées au comportement des barrages en matériaux meubles exposés à une fuite ou une submersion et sur le développement de brèches sur ces barrages. Un programme d'essais grandeur nature, unique en son genre, fait partie de ces projets. En outre, deux thèses de doctorat sur le passage de crues extrêmes et sur le traitement des crues et la planification des mesures d'urgence ont été récemment réalisées.

## **Portugal**

L'institut de l'eau INAG du Ministère de l'Environnement a décidé d'appliquer systématiquement une évaluation de la sécurité aux barrages portugais. Le programme a débuté en 1998 et concerne actuellement un total de 38 grands barrages.

## **Suède**

À l'Institut Royal de Technologie, Département de génie hydraulique, deux étudiants de troisième cycle, également employés dans différentes compagnies hydroélectriques, mènent des recherches dans le domaine de l'analyse des risques. L'un d'entre eux conduit un projet traitant des principes décrivant comment l'analyse des risques peut être utilisée pour décrire la manœuvre de vannes d'évacuateur (Berntsson, 2001). L'autre projet étudie les risques connexes aux crues extrêmes et les risques associés aux charges climatiques, telles qu'un vent fort, de fortes précipitations, etc.

L'ELFORSK (l'Association de Recherche et de Développement des Propriétaires Suédois de Barrages) participe au projet pour préparer « Un guide de gestion des risques des barrages ». Ce projet est mené par le Groupe d'Intérêt de Sécurité des Barrages de l'Association Électrique Canadienne.

Enfin, Vattenfall a développé un modèle pour la maintenance basée sur la fiabilité (MBF). Cette structure est actuellement révisée et évaluée.

## **Suisse**

Le Comité Suisse sur les Barrages a mis en place un groupe de travail dédié à la recherche en analyse des risques pour les barrages. Le groupe fournira ses résultats en 2004.

## **Turquie**

Le Comité Turc des Grands Barrages a récemment mis en place un groupe de travail dédié à l'analyse des risques. Le groupe a commencé ses activités en février 2002.

## **Norway**

An extensive research activity is presently carried out in Norway on Stability and Breach Formation of Rockfill Dams. These activities are organized in two projects, one national project and one sub-project within a comprehensive European Union (EU) project. The latter is called IMPACT – improvement of basis for risk analysis/probability of overtopping failure and improved basis for dam-break hazard analysis. The project will greatly improve our knowledge and understanding related to behaviour of embankment dams exposed to leakage or overtopping and on the breach development of these dams. A unique full-scale test program is carried out as a part of these projects. In addition, two PhD theses on the Passage of Extreme Floods and on Flood Handling and Emergency Action Planning have been completed recently.

## **Portugal**

The water institute INAG of the Ministry of Environment has decided to apply a safety assessment systematically for the Portuguese dams. The program has started in 1998, involving a total of 38 large dams at the moment.

## **Sweden**

At the Royal Institute of Technology, Department of Hydraulic Engineering, there are two postgraduate students, who also are employed at different hydropower companies, carrying out research within the field of risk analysis. One of them has a project dealing with principles on how risk analysis can be used to describe spillway gate operation (Berntsson, 2001). The other project is studying risks connected with the extreme floods and risks associated with weather loads, such as heavy wind, precipitation, etc.

ELFORSK (the Swedish dam owners research and development organization) is a participant in the project to prepare “A Guide to Dam Risk Management”. This project is being carried out by the Dam Safety Interest Group of the Canadian Electricity Association.

Finally, Vattenfall has developed a model for reliability centred maintenance (RCM). At the moment this framework is being reviewed and evaluated.

## **Switzerland**

The Swiss Committee on Dams constituted a working group for research in risk analysis for dams. The group will provide its findings in 2004.

## **Turkey**

The Turkish Committee on Large Dams has recently constituted a working group for risk analysis for dams. The group commenced its activities in February 2002.

## Royaume-Uni

Le Gouvernement du Royaume-Uni, via le Ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales, finance des recherches visant à savoir s'il est possible de concevoir un système intégré qui fournisse un cadre pour évaluer les fréquences d'occurrence et les conséquences de toutes les diverses menaces pesant sur la sécurité d'un réservoir. Cette structure servira de base à la prise de décisions par des ingénieurs dans le cadre de l'application Loi des réservoirs du Royaume Uni, lors de la réalisation des inspections décennales réglementaires de sûreté. Ces recherches sont menées par un cabinet d'ingénieurs conseil, et doivent être achevées en juin 2002, date à laquelle les résultats seront probablement disponibles sur le site Web du DEFRA sous forme de rapport de recherche. Des résultats préliminaires suggèrent qu'il est possible de concevoir un prototype de système basé sur une évaluation quantitative des risques. Les probabilités de ruptures et d'incidents relatives à l'érosion interne seraient déduites de l'historique des performances des barrages du Royaume-Uni, obtenu de la base de données du BRE (Building Research Establishment).

Il existe également une proposition de constitution d'une nouvelle base de données d'incidents et d'accidents au Royaume-Uni sous l'égide d'un projet de recherche gouvernemental.

Le travail continue avec l'application de la méthodologie d'évaluation des risques pour un certain nombre de clients basés sur la publication de la CIRIA *Gestion des risques des réservoirs anglais* (Hughes *et al.*, 2000) et un projet d'évaluation des risques quantitatifs a été récemment réalisé pour une des grandes installations techniques hydrauliques.

**États-Unis** (Livre blanc pour les questions émergentes – en cours de publication)

*Les recommandations du groupe de travail pour la recherche et le développement et pour le transfert de technologie et la formation en évaluation des risques de sécurité des barrages sont nombreuses. Le groupe de travail encourage la mise en pratique énergique de ces recommandations. Cela devrait inclure des études pilotes et des projets de démonstration étant donné que, comme pour les nouveaux domaines de pratique d'ingénierie, alors que les séminaires et les ateliers sont précieux, les professionnels peuvent uniquement développer une pratique appropriée via des expériences pratiques.*

Cet extrait est tiré de l'avant-projet final du Livre blanc qui a maintenant été publié (USSD, 2003).

### **US Corps of Engineers :**

L'USACE a lancé un programme de R&D de 15 millions de dollars sur 7 ans afin de développer les structures et les outils de prise de décisions d'évaluation des risques en 1999. À ce jour, ce programme a été financé à hauteur d'environ 1,5 million de dollars par an. Le programme, intitulé Analyse des risques pour la sûreté des barrages, finance une dizaine d'unités de travail par an qui examinent diverses questions, telles que :

1. Cadres d'analyses pour un ensemble de barrages ou spécifiques à un site ;
2. Détermination de la perte en vies humaines (McClelland et Bowles, 1999) ;

## **United Kingdom**

The UK Government, through the Department of Environment, Food and Rural Affairs, is funding research into whether it is possible to devise an integrated system which provides a framework to assess the frequencies of occurrence and consequences of all the various threats to reservoir safety. This framework would be used as a guide for decision-making by Panel Engineers under the UK Reservoirs Act, when carrying out statutory 10 yearly safety inspections. This research is being carried out by a firm of consulting engineers, and is due for completion in June 2002, when the results are likely to be available on the DEFRA website as a research report. Preliminary results suggest that it is possible to devise a prototype system, based on quantitative risk assessment. Probabilities of failures and incidents relating to internal erosion would be inferred from historical performance of dams in the UK, obtained from the BRE (Building Research Establishment) database.

There is also a proposal to form a new database of incidents and accidents in the UK under a Government research project.

Work continues with the application of the risk assessment methodology for a number of clients based on the CIRIA Publication *Risk Management for UK Reservoirs* (Hughes *et al.*, 2000) and a quantitative risk assessment project has recently been completed for one of the big water utilities.

## **USA (from the USSD Emerging Issues White Paper – in publication)**

*The Working Group's recommendations for research and development and for technology transfer and training in dam safety risk assessment are many. The Working Group encourages the vigorous pursuit of these recommendations. This should include pilot studies and demonstration projects since, as with other new areas of engineering practice, while seminars and workshops are of value, it is only through hands-on experience that professionals can develop appropriate practice.*

This excerpt was taken from the final draft of the White Paper, which has now been published (USSD, 2003).

### ***US Corps of Engineers:***

USACE began a 7-year proposed \$15 million R&D program to develop risk assessment decision-making frameworks and tools in 1999. To date this program has been funded at about \$1.5 million per year. The program, entitled Risk Analysis for Dam Safety, funds about 10 work units per year which are looking at a variety of issues such as:

1. Portfolio and site specific analysis frameworks;
2. Determining loss of life (McClelland and Bowles, 1999);

3. Modèles probabilistes géotechniques pour percolation et renard ;
4. Modèles probabilistes sous pression ;
5. Modèles de fiabilité pour les vannes et l'équipement d'exploitation ;
6. Modèles probabilistes pour la stabilité de la construction.

### **Yougoslavie**

Le comité technique pour la sûreté des barrages en Yougoslavie a désigné un groupe de travail sur l'analyse des risques afin de procéder à des analyses de risques quantitatives pour quelques barrages anciens.

### **Argentine, Thaïlande, République Tchèque, Afrique du Sud, Libye, Pologne, Chypre, Grèce**

Aucune recherche en cours n'a été signalée dans ces pays.

3. Probabilistic geotechnical models for seepage and piping;
4. Probabilistic uplift models;
5. Reliability models for gates and operating equipment;
6. Probabilistic models for structural stability.

### **Yugoslavia**

The Technical Committee for dam safety in Yugoslavia has appointed a working group on risk analysis to perform quantitative risk analyses for a few older dams.

**Argentina, Thailand, Czech Republic, South Africa, Libya, Poland, Cyprus, Greece.**

No research in progress was reported from these countries.

---

## 5. TERMINOLOGIE

---

L'utilisation de terminologies peu cohérentes pour des industries différentes, voire au sein d'une même industrie, est un frein sérieux à la communication et à la compréhension de la gestion des risques (Kaplan, 1997).

Les termes utilisés par le grand public ont un sens parfois différent de celui spécifique que lui donnent les professionnels. Par exemple, en anglais, les mots « risk » et « hazard » ont pratiquement la même signification, mais leur usage technique est différent. De plus, la signification pour l'ingénierie des barrages diffère de celle de l'évaluation des risques.

Voici quelques exemples de décalage de signification.

**Risque :** En voici quelques définitions :

### En ingénierie

- En ce qui concerne le risque de crue, « *la possibilité de rupture du barrage au cours de sa vie, à cause d'un évacuateur ou d'une revanche inadaptés* » (ANCOLD, 1986 - page 9);
- « *la probabilité d'un événement indésirable survenant au cours d'une période donnée* » (CIRIA, 1999).

### En évaluation des risques

- « *une mesure de la probabilité et de la gravité d'un impact néfaste sur les personnes, les biens ou l'environnement* » (CSA, 1991);
- « *la possibilité qu'un événement survienne ayant un impact sur les objectifs. Il est mesuré en termes de conséquence et de probabilité* » (SA/SNZ, 1999);
- Kaplan (1997) considère un « risque » comme un triplet constitué d'un scénario (que peut-il arriver?), d'une probabilité (combien cela a-t-il de chances d'arriver?) et de conséquences (si cela arrive, quelles sont les conséquences?).

En ingénierie, le risque a été défini comme une probabilité, tandis que pour l'évaluation des risques il est défini comme une probabilité et des conséquences.

**Danger :** Voici quelques définitions :

### En ingénierie des barrages

- « *Les dangers se rapportent à des pertes potentielles de vies humaines ou des dommages sur les biens dans la région en aval du barrage dans le cas d'une rupture ou d'une mauvaise opération sur le barrage ou sur les installations annexes.* » (US Corps of Engineers, 1978);
- « *Danger de crue : les pertes potentielles de vies humaines, de bien et d'activités pouvant directement être attribuées à une crue.* » (ANCOLD, 1986 - page 9);

---

## 5. TERMINOLOGY

---

Across different industries, and within industries, inconsistent schemes of terminology are a serious impediment to communication and understanding of risk management (Kaplan, 1997).

Words as used by the population, are sometimes understood differently to the specific meanings given to those words by technical professionals. For example, in English, the words “risk” and “hazard” have much the same meaning, but in technical usage they have distinctly different meanings. Moreover, the meanings in dams engineering differ from those in risk assessment.

Some examples of inconsistent usage follow.

**Risk:** Some definitions are:

### In dams engineering

- referring to flood risk, “*the chance of failure of the dam during its life, due to inadequate spillway and freeboard provisions*” (ANCOLD, 1986 - page 9);
- “*the probability of a particular undesirable outcome occurring within a specified period*” (CIRIA, 1999).

### In risk assessment

- “*a measure of the probability and severity of an adverse effect to health, property, or the environment*” (CSA, 1991);
- “*the chance of something happening that will have an impact upon objectives. It is measured in terms of consequences and likelihood*” (SA/SNZ, 1999);
- Kaplan (1997) sees “risk” as the triplet of scenario (what can happen?), likelihood (how likely is it that it will happen?) and consequences (if it does happen, what are the consequences?).

In engineering risk has been defined as likelihood, whereas in risk assessment it is defined as likelihood and consequences.

**Hazard:** Some definitions are:

### In dams engineering

- “*The hazards pertain to potential loss of human life or property damage in the area downstream of the dam in event of failure or misoperation of the dam or appurtenant facilities.*” (US Corps of Engineers, 1978);
- “*Flood Hazard: The potential loss of life, property and services which can be directly attributed to a flood.*” (ANCOLD, 1986 - page 9);

- « *Le danger de crue est défini comme la perte potentielle de vies humaines ou les dommages aux biens en aval d'un barrage engendrés par les eaux, les objets flottants ou les sédiments lâchés par un barrage ou déversés lors d'une rupture* ». (CIGB, 1998 - page 41).

### En évaluation des risques

- « *Danger - une condition pouvant entraîner des conséquences indésirables* » (Canadian Standards Association, 1991) ;
- « *Danger - une source de nuisances potentielles, ou une situation ayant un potentiel d'entraîner des pertes* » (SA/SNZ, 1999).

Ainsi, pour l'évaluation des risques, un réservoir est un danger, de la même manière qu'une crue, ou un tremblement de terre. Cependant, en ingénierie des barrages, il existe une pratique fortement enracinée consistant à considérer le danger comme la mesure des conséquences d'une rupture de barrage, des exemples étant donnés par les réponses des comités nationaux de la CIGB présentés dans la section 4 de ce Bulletin.

Nous venons de mentionner des exemples des différences de pratique entre les disciplines de l'ingénierie des barrages et l'analyse des risques. Il existe d'autres différences, plus subtiles au sein même des disciplines. Un exemple est donné par les variations dans la définition de « fréquence ». La plupart du temps, le concept de « fréquence » est associé à un grand nombre d'observations ou d'essais répétés ; par exemple, soit  $n$  le nombre de fois où un as sort lors de 1 000 tirages aléatoires de quatre cartes dans un paquet. La fréquence est «  $n/1\ 000$  », un rapport sans dimension. Cependant, certains définissent la « fréquence » avec une dimension de temps puissance moins un (SA/SNZ, 1999), ce qui est un cas spécial qui s'applique seulement lorsque les essais surviennent avec un rythme fixé.

Les définitions du glossaire de ce Bulletin ont été sélectionnées dans l'intention de fournir une terminologie internationale pour l'évaluation des risques appliqués aux barrages. Les définitions ont été sélectionnées en vue des objectifs suivants :

1. Les définitions doivent être compatibles avec les normes nationales concernant la gestion et l'analyse des risques ;
2. Elles doivent être compatibles avec le sens le plus généralement reconnu dans la discipline de l'évaluation des risques ;
3. Elles doivent être si possible compatibles avec le sens général des mots donnés dans un dictionnaire courant ;
4. Les sens acceptés actuellement par l'ingénierie des barrages doivent être conservés, sauf s'ils sont en contradiction avec l'un des objectifs précédents.

- *“Flood hazard is defined as the potential loss of human life or property damage downstream of a dam from flood water, floating matter or sediments released from a dam or discharged from a dam-break”.* (ICOLD, 1998 - page 41).

### In risk assessment

- *“Hazard – a condition with the potential for causing an undesirable consequence.”* (Canadian Standards Association, 1991);
- *“Hazard – a source of potential harm or a situation with a potential to cause loss.”* (SA/SNZ, 1999).

Thus, in risk assessment, a body of stored water is a hazard. So is a flood, or an earthquake. But, in dams engineering, there is a strongly ingrained practice of seeing hazard as a measure of the consequences of dam failure, exemplified by the responses of ICOLD national committees summarised in Section 4 of this bulletin.

The above are examples of different practices between the disciplines of dams engineering and risk analysis. There are other, subtler, differences within disciplines. An example is the variations in the definition of “frequency”. Most commonly, the concept of “frequency” is associated with a large number of observations or repetitive trials; for example, the number of times “n” that an Ace is found in one thousand trials of drawing four cards at random from a card pack. The frequency is “n/1000”, a dimensionless ratio. However, some define “frequency” as having dimensions of time to the minus one (SA/SNZ, 1999), which is a special case that applies only when trials occur at a fixed temporal rate.

The definitions in the Glossary to this bulletin have been selected with a view to providing terminology that can be adopted internationally for risk assessment applied to dams. The definitions were selected having regard to the following objectives:

1. They should be compatible with national standards on risk analysis and management;
2. They should be compatible with the most common meanings in use in the discipline of risk assessment;
3. They should be compatible with the ordinary dictionary meaning of words, so far as possible;
4. Meanings that are presently accepted within the discipline of dams engineering, should be preserved where that does not offend the three preceding objectives.

---

## 6. GLOSSAIRE (\*)

---

| TERME   | DÉFINITION   |
|---|--|
| Acceptation des risques                               | Décision informée d'accepter la probabilité et les conséquences d'un risque donné. Voir la définition de <i>risque acceptable</i> .  |
| Analyse de fiabilité humaine                          | Approche systématique et structurée pour estimer les probabilités d'erreurs humaines pour des tâches spécifiques, et les conséquences de ces erreurs.  |
| Analyse de rupture de barrage                         | Analyse permettant l'estimation des effets de l'inondation en aval générée par une rupture de barrage. L'analyse comprend l'analyse de la rupture de barrage et le cheminement de l'hydrogramme de rupture dans la rivière en aval et dans les zones qui seraient inondées.  |
| Analyse de sensibilité                                | Analyse permettant de déterminer la vitesse à laquelle un paramètre résultant varie en fonction de l'évolution d'une ou plusieurs données en entrée. La sensibilité peut être visualisée comme la pente de la courbe ou de la surface des paramètres résultants pour la valeur ou les valeurs des paramètres en entrée.  |
| Analyse des Modes de Défaillance et des Effets (AMDE) | Méthode d'analyse inductive au cours de laquelle on suppose des défauts ou événements initiateurs pour analyser l'ensemble de leurs effets sur le système. L'AMDE peut être complétée par des considérations de criticité grâce à l'AMDEC - Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. Dans une AMDEC, chaque mode de défaillance identifié est classifié selon l'influence combinée de sa probabilité et de la gravité des conséquences. |
| Analyse des risques                                   | L'analyse des risques est l'utilisation des informations disponibles pour estimer les risques concernant des individus ou des populations, des biens ou l'environnement, entraînés par des phénomènes dangereux. L'analyse des risques comprend en général les étapes suivantes : définition du domaine d'application, identification des phénomènes dangereux et évaluation des risques.  |

---

(\*) Il n'y a pas de mise en parallèle des textes anglais et français pour ce chapitre.

---

---

## 6. GLOSSARY (\*)

---

| <b>TERM</b>  | <b>DEFINITION</b>   |
|--|---|
| Acceptable risk                                    | A risk which, for the purposes of life or work, everyone who might be impacted is prepared to accept assuming no changes in risk control mechanisms.[HSE] Such a risk is regarded as insignificant and adequately controlled. Action to further reduce such risk is usually not required unless reasonably practicable measures are available at low cost in terms of money, time and effort. |
| ALARP (As Low As Reasonably Practicable) principle | That principle which states that risks, lower than the limit of tolerability, are tolerable only if risk reduction is impracticable or if its cost is grossly disproportionate (depending on the level of risk) to the improvement gained. [HSE]  |
| Annual Exceedance Probability (AEP)                | The estimated probability that an event of specified magnitude will be equalled or exceeded in any year.  |
| Bayes theorem                                      | A theorem that provides the logical basis for updating a probability value on the basis of new evidence.  |
| Commensurable risks                                | Risks that are measurable by the same standards as others. In risk analysis, commonly refers to consequences that are measurable in monetary terms.   |
| Conditional probability                            | The probability of an outcome, given the occurrence of some event. For example, given that a flood has reached the crest of an embankment dam, the probability of the dam failing is a conditional probability.   |
| Consequences                                       | In relation to risk analysis, the outcome or result of a risk being realized. Impacts in the downstream, as well as other, areas resulting from failure of the dam or its appurtenances.  |
| Cumulative distribution function (CDF)             | The integral of the probability density function calculated in the direction of increasing values of the random variable. Thus the probability that the random variable takes on values less than or equal to a particular value can be read from the CDF.  |

---

(\*) There is no placement in parallel of the English and French textes in this chapter.

---

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | <p>Cohérent avec la définition courante du dictionnaire de l'analyse, à savoir, « <i>Examen détaillé d'un phénomène complexe effectué pour comprendre sa nature et déterminer ses caractéristiques principales</i> », l'analyse des risques implique une décomposition du système de barrage et des sources de risques en composants élémentaires.</p>  |
| Analyse par arbre de défaillances   | <p>Méthode d'ingénierie des systèmes pour représenter les combinaisons logiques de différents états d'un système et des causes possibles pouvant déclencher un événement spécifique (appelé événement de base).</p>   |
| Analyse par arbre d'événements      | <p>Une analyse par arbre d'événement est un processus inductif qui utilise une construction graphique arborescente pour représenter une séquence logique d'occurrence d'événements ou d'états successifs d'un système à la suite d'un événement initial.</p>  |
| Analyse qualitative de risques      | <p>Analyse sous forme textuelle, sous forme d'échelle descriptive ou sous forme numérique, décrivant l'ampleur des conséquences potentielles, et la probabilité que ces conséquences surviennent.</p>   |
| Analyse quantitative des risques    | <p>Analyse basée sur des valeurs numériques des conséquences potentielles et des probabilités, ces valeurs étant censées représenter correctement l'ampleur réelle des conséquences et la probabilité des différents scénarios qui sont examinés.</p>   |
| Appréciation des risques            | <p>Processus d'examen et de jugement de l'importance des risques. La phase d'appréciation des risques est le point où les valeurs (sociétales, réglementaires, légales et celles du propriétaire) et les jugements de valeurs sont pris en compte dans le processus de décision, de manière explicite ou implicite, en incluant la considération de l'importance des risques estimés et des conséquences sociales, environnementales, économiques ou autres, afin d'identifier et d'évaluer une série d'options de gestion des risques.</p> |
| Approche basée sur la normalisation | <p>Approche traditionnelle de l'ingénierie des barrages, pour laquelle les risques sont contrôlés en respectant des règles établies se rapportant aux événements et aux chargements de projet, à la capacité structurelle, aux coefficients de sécurité et aux mesures de conception conservatives.</p>   |

|   |   |
|---|---|
| Complementary cumulative distribution function (CCDF) | The integral of the probability density function calculated in the direction of decreasing values of the random variable. Thus the probability that the random variable takes on values greater than or equal to a particular value can be read from the CCDF. The F-N chart is an example of a CCDF, although the probability of $N=0$ is omitted.                 |
| Dam-break affected zone                               | That zone of flooding where the changes in depth and velocity of flooding due to dam-break are such that there is potential for incremental loss of life or significant incremental damage to property or the environment.  |
| Dam-break analysis                                    | An analysis that provides an estimation of downstream flooding effects resulting from dam failure. The analysis includes a dam-break analysis and the routing of the dam-break hydrograph through the downstream channel and areas that would be inundated.   |
| Decision-maker  | The person or organizational unit that decides on a course of action in relation to the safety of a dam on the basis of a range of considerations which may include a risk assessment.  |
| Decision process                                      | The total process, whether structured or not, involved in reaching a decision. The process may involve interaction between the decision-maker and the risk assessment team in order that both parties properly understand the decision context and to take account of the decision-maker's values and preferences in presenting the results of the risk assessment. |
| Decision recommendation                               | The advice given to a decision-maker by the risk assessment team as to which of a range of alternative courses of action should be preferred, based on factors that fall within the team's area of responsibility and competence.   |
| Decision rule   | A principle by which a decision-maker will judge a number of options in order to select a preferred option. An example is the ALARP principle.  |
| Deterministic   | Describing a process with an outcome that is always the same for a given set of inputs. Thus the outcome is "determined" by the input. Deterministic contrasts with random, which describes a process with an outcome that can vary even though the inputs are the same. Contrasts with <i>probabilistic</i> (qv).  |

|  |  |
|--|--|
| Atténuation des risques                  | Application sélective de techniques appropriées et de principes de gestion pour réduire soit la probabilité d'occurrence, soit les conséquences, ou encore les deux.   |
| Coefficient de sécurité                  | Pour les systèmes structurels et autres systèmes techniques, le rapport de la résistance du système avec les contraintes de projet maximales, souvent calculées en accord avec des règles établies.  |
| Conséquences                             | En relation avec l'analyse des risques, le résultat d'un risque une fois réalisé. Impacts sur les régions en aval ou ailleurs, résultant de la rupture d'un barrage ou de ses ouvrages annexes.  |
| Conséquences incrémentales d'une rupture | Pertes ou dommages incrémentaux que la rupture du barrage peut entraîner sur les zones en amont, en aval, sur le barrage ou ailleurs, en supplément d'autres pertes qui seraient survenues pour le même événement ou les mêmes conditions naturelles si le barrage n'avait pas rompu.                              |
| Contrôle des risques                     | La mise en œuvre d'actions pour contrôler les risques, et la réévaluation périodique de l'efficacité de ces actions.   |
| Courbe de fragilité                      | Fonction définissant la probabilité d'une défaillance en fonction de la contrainte exercée. Forme particulière de la <i>réponse du système</i> (voir ce terme) plus générale.  |
| Courbes F-N                              | Courbes donnant F (probabilité annuelle de provoquer N décès ou plus) en fonction de N. C'est la fonction de distribution cumulative complémentaire. De telles courbes peuvent être utilisées pour exprimer des critères de risques sociétaux et pour décrire les niveaux de sécurité d'installations spécifiques. |
| Danger                                   | Menace; condition, pouvant résulter soit d'une cause extérieure (par exemple tremblement de terre, crue, ou action humaine) soit d'une vulnérabilité interne, pouvant entraîner un mode de défaillance. Une source de nuisances potentielles, ou une situation pouvant entraîner des pertes.                       |
| Décideur                                 | Personne ou unité qui décide des actions à mettre en œuvre en relation avec la sécurité d'un barrage, sur la base d'une série de considérations pouvant inclure l'évaluation des risques.  |
| Défaillance de barrage                   | En général, l'incapacité d'un barrage, ou de l'un de ses composants, de fonctionner correctement.  |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Direct losses               | Losses that result from contact with floodwaters. See also <i>indirect losses</i> .  |
| Discount rate               | The compound growth rate, which will convert a present money amount to a future money amount (or vice versa), which is equivalent in terms of society's preferences. In risk assessment, the main use of the discount rate is in comparing the economic worth of risk reduction options.   |
| Effects                     | In the context of failure modes analysis (FMEA and FMECA), this term refers to the consequences for the functioning of a system, such as a dam, of a failure at some point within the system. If the system boundary is the dam, these consequences would be distinguished from the remote consequences, which may also be the result of the same failure, such as loss of life and property damage due to a dam-break wave downstream of the dam. |
| Efficiency                  | In relation to society's use of resources, that principle, which seeks to gain greatest benefit from the available resources.  |
| Emergency preparedness plan | Document which contains procedures for dealing with various emergencies, as well as communication directories and inundation maps showing upstream and downstream water levels and times of arrival of floods which would result from the failure of the dam or its appurtenances.   |
| Environmental risks         | Risks to natural ecosystems or to the beauty or amenity of the natural world.  |
| Equity                      | The principle, which holds that the interests of all are to be treated with fairness and that individuals and society have the right to be protected.  |
| Event tree analysis         | An event tree analysis is an inductive analysis process that utilizes an event tree graphical construct that shows the logical sequence of the occurrence of events in, or states of, a system following an initiating event.  |
| Expected value              | The average or central tendency of a random variable. Specifically in relation to risk analysis, the product of the probability of an event and of its consequences, aggregated over all possible values of the variable.  |
| Extreme event               | Event, which has a very low annual exceedance probability (AEP). Sometimes defined as an event beyond the <i>credible limit of extrapolation</i> and   |

Donc, en termes de fonctionnement prévu, l'incapacité du barrage à assumer des fonctions de type approvisionnement en eau, maintien d'un niveau raisonnable de percolation, ou rétention de substances dangereuses. Dans le contexte des barrages, le terme défaillance est en général réservé à des problèmes d'intégrité structurelle, et dans certains contextes, au cas spécifique de lâcher incontrôlé du réservoir par rupture du barrage ou d'une partie de celui-ci.

|                |   |
|----------------|---|
| Délai d'alerte | En relation avec les méthodes d'estimation des pertes de vies humaines lors d'une rupture de barrage, le temps s'écoulant entre la première alerte à la population menacée et le moment d'arrivée de l'onde de crue là où se trouve cette population.   |
| Déterministe   | Décrit un processus donnant un résultat qui reste toujours le même pour un jeu fixé de données en entrée. Ainsi, le résultat est « déterminé » par les données. Déterministe s'oppose à aléatoire, qui décrit un processus donnant un résultat pouvant varier même si les données restent les mêmes. Opposé à <i>probabiliste</i> (voir ce terme).  |
| Effets         | Dans le contexte de l'analyse des modes de défaillances (AMDE et AMDEC), ce terme se réfère aux conséquences sur le fonctionnement d'un système de type barrage, d'une défaillance au sein du système. Si les limites du système sont constituées par celles du barrage, on distinguera ces conséquences des conséquences éloignées, pouvant être également le résultat de la même défaillance, comme des pertes de vies humaines ou des dommages aux biens dus à l'onde de rupture en aval du barrage. |
| Efficacité     | Principe cherchant à tirer un bénéfice maximum des ressources disponibles que la société peut utiliser.   |
| Équité         | Principe exprimant que les intérêts de chacun doivent être traités avec impartialité, et que les individus et la société ont le droit d'être protégés.  |
| État           | Valeur spécifique ou plage de valeurs d'une variable utilisée pour décrire une situation présentant un intérêt pour une étude d'évaluation des risques. On peut donner comme exemples un état de vitesse de vent, un pic de débit de crue en  |

therefore dependent on the length of record and the quality of the data available (Nathan and Weinmann, 1999).

|  |   |
|--|---|
| Factor of Safety                         | See “Safety coefficient”.   |
| Failure mechanism                        | A mechanism described by the physical processes and states that must occur in accordance with natural laws for the failure mode to progress from failure mode initiation (cause) through to the realisation of ultimate failure effect of interest.   |
| Failure of dam                           | In the general case, the inability of a dam system, or part thereof, to function as intended. Thus, in terms of performance to fulfil its intended function, the inability of a dam to perform functions such as water supply, prevention of excessive seepage or containment of hazardous substances. In the context of dam safety, failure is generally confined to issues of structural integrity, and in some contexts to the special case of uncontrolled release of the contents of a reservoir through collapse of the dam or some part of it. |
| Failure mode                             | A way that failure can occur, described by the means by which element or component failures must occur to cause loss of the sub-system or system function.  |
| Failure mode and effects analysis (FMEA) | An inductive method of analysis where particular faults or initiating conditions are postulated and the analysis reveals the full range of effects of the fault or the initiating condition on the system. FMEA can be extended to perform what is called failure modes, effects and criticality analysis (FMECA). In a FMECA, each failure mode identified is ranked according to the combined influence of its likelihood of occurrence and the severity of its consequences.   |
| Fault tree analysis                      | A systems engineering method for representing the logical combinations of various system states and possible causes which can contribute to a specified event (called the top event).   |
| Flood warning system                     | A system defining the level of flooding at which a warning will be initiated, the physical means by which it will be relayed, and the persons to whom it will be given. The system includes all necessary hardware such as water level actuators.   |
| f, N pairs                               | Refers to “f”, the probability of life loss due to dam failure for each scenario studied, and “N”,  |

amont, ou un état de fonctionnement d'une vanne d'évacuateur.

Évaluation de fiabilité humaine (HRA)

Approche systématique et structurée pour estimer les probabilités d'erreurs humaines pour des tâches spécifiques, les conséquences de ces erreurs, la tolérabilité des risques et les mesures de contrôle nécessaires (modification de HSE, 1999b).

Évaluation des risques

Processus consistant à émettre une recommandation de décision concernant la tolérabilité des risques existants et l'adéquation des mesures actuelles de contrôle des risques, et à proposer éventuellement d'autres options de contrôle des risques. L'évaluation des risques comprend une phase d'analyse des risques et une phase d'appréciation des risques.

Cohérente avec la définition courante du dictionnaire, à savoir « Analyser de manière critique et juger définitivement de la nature, de l'importance, du statut ou mérite du ... [risque] », l'évaluation des risques est un processus de prise de décision, rarement parfaitement optimal entre plusieurs intérêts concurrents, menant à la conclusion que les risques sont, ou ne sont pas, correctement contrôlés. L'évaluation des risques implique l'analyse, l'appréciation et la décision dans le contexte de gestion des risques; toutes les parties doivent accepter l'éventuelle occurrence de conséquences néfastes, les propriétaires étant responsables du traitement effectif des conséquences d'une rupture.

Évaluation multiple des risques

Forme particulière d'analyse ou d'évaluation des risques, destinée à faire une évaluation comparative des risques sur tous les barrages, ou une grande partie, d'un unique propriétaire, organisme de régulation, ou autre juridiction. Une approche similaire peut être utilisée pour comparer les risques sur de nombreux composants et modes de défaillance d'un système comprenant un barrage unique. De telles études peuvent être limitées à la phase d'analyse des risques (l'évaluation des risques) mais en général, elles comprennent au moins une estimation préliminaire de la tolérabilité des risques, et une identification préliminaire des mesures de réduction des risques, comme base initiale pour la planification d'études plus détaillées.

the number of lives expected to be lost in the event of such a failure scenario. The term “N” can be replaced by any other quantitative measure of failure consequences, such as monetary measures. The triplets of scenario, probability, and consequences are the fundamental outputs of a risk analysis.

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| F-N curves                          | Curves that relate F (the probability per year of causing N or more fatalities) to N. This is the complementary cumulative distribution function. Such curves may be used to express societal risk criteria and to describe the safety levels of particular facilities. |
| Fragility curve                     | A function that defines the probability of failure as a function of an applied load level. A particular form of the more general <i>system response</i> (qv).   |
| Frequency                           | A measure of likelihood expressed as the number of occurrences of an event in a given time or in a given number of trials. See also <i>likelihood</i> and <i>probability</i> .  |
| Hazard                              | Threat; condition, which may result from either an external cause (e.g. earthquake, flood, or human agency) or an internal vulnerability, with the potential to initiate a failure mode. A source of potential harm or a situation with a potential to cause loss.      |
| Human factors                       | Human factors refer to environmental, organizational and job factors, and human and individual characteristics which influence behaviour at work in a way which can affect safety (HSE, 1999b – slightly modified).   |
| Human Reliability Analysis          | A structured and systematic way of estimating the probability of human error in specific tasks, and the consequences of those errors.   |
| Human Reliability Assessment (HRA)  | A structured and systematic way of estimating the probability of human error in specific tasks, the consequences of those errors, the tolerability of the risks and the needed control measures (a modification of HSE, 1999b).   |
| Hypothetical person                 | A notional person with specified characteristics and living in specified circumstances, commonly defined as a basis for estimating “Individual risk” (qv). See HSE, 2001.   |
| Incremental consequences of failure | Incremental losses or damage, which dam failure might inflict on upstream areas, downstream   |

|   |  |
|---|--|
| Évaluation qualitative des risques                        | Évaluation basée sur l'analyse qualitative des risques   |
| Événement extrême   | Événement ayant une probabilité de dépassement annuelle (AEP) très faible. Quelquefois défini comme un événement dépassant les <i>limites crédibles d'extrapolation</i> et donc dépendant des séries historiques et de la qualité des données disponibles (Nathan et Weinmann, 1999).  |
| Facteur de sécurité                                       | Voir « Coefficient de sécurité ».  |
| Facteurs humains  | Les facteurs humains se réfèrent à des facteurs environnementaux, organisationnels et professionnels, et des caractéristiques humaines individuelles qui influencent sur le comportement professionnel d'une manière pouvant influencer la sécurité (HSE, 1999b – légèrement modifié).   |
| Fiabilité   | Probabilité de fonctionnement correct d'un composant spécifique d'un aménagement. Elle peut être mesurée sur une base annuelle ou pour toute période spécifiée, ou encore par exemple dans le cas des vannes d'évacuateurs, sur demande. D'un point de vue mathématique, fiabilité = 1 – probabilité de défaillance.                           |
| Fonction de densité de probabilité                        | Fonction décrivant la vraisemblance qu'une variable aléatoire prenne une valeur spécifique et non pas d'autres valeurs.  |
| Fonction de distribution cumulative (FDC)                 | L'intégrale de la fonction de densité de probabilité calculée dans la direction des valeurs croissantes de la variable aléatoire. Ainsi, la probabilité que la variable aléatoire ait une valeur inférieure ou égale à une valeur donnée est égale à la valeur de la FDC.  |
| Fonction de distribution cumulative complémentaire (FDCC) | Intégrale de la fonction de densité de probabilité calculée dans la direction des valeurs décroissantes de la variable aléatoire. Ainsi, la probabilité qu'une variable aléatoire prenne une valeur supérieure ou égale à une valeur est égale à la IFDCC. La courbe F-N est un exemple de FDCC, quoique la probabilité de $N = 0$ soit omise. |
| Fréquence   | Mesure de probabilité exprimée par le nombre d'occurrences d'un événement au cours d'une période donnée ou pour un nombre donné d'essais. Voir également <i>vraisemblance</i> et <i>probabilité</i> .  |
| Gestion des risques                                       | Application systématique de politiques, de procédures et de pratiques de gestion aux tâches  |

areas, at the dam, or elsewhere, over and above any losses which might have occurred for the same natural event or conditions, had the dam not failed.

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Indirect losses                | Indirect losses are the difference between total losses and <i>direct losses</i> (qv).  |
| Individual risk                | The increment of risk imposed on a particular individual by the existence of a hazardous facility. This increment of risk is an addition to the background risk to life, which the person would live with on a daily basis if the facility did not exist or, in the context of dam safety, if the dam did not fail. |
| Intolerable risk               | A risk that is greater than the <i>tolerable risk</i> (qv).   |
| Involuntary risk               | A risk imposed on people by a controlling body and not assumed by free choice of the people at risk.  |
| Joint probability              | The probability that two or more variables will assume certain values simultaneously or within particular time intervals.   |
| Likelihood                     | Used as a qualitative description of probability and frequency.   |
| Limit                          | In relation to level of risk, that level which, when exceeded, is unacceptable. Higher risks cannot be justified except in extraordinary circumstances (typically where the continuation of the risk has been authorised by government or a regulator in the wider interests of society).                           |
| Loss                           | Any negative consequence, financial or otherwise.   |
| Monte Carlo simulation         | A procedure, which seeks to simulate stochastic processes by random selection of values in proportion to their joint probability density function.  |
| Multi-attribute utility theory | The body of theory that defines the rules for selecting optimal solutions where there are competing attributes, the maximisation of all of them being desirable.  |
| Negligence                     | A concept, under some legal systems, forming a basis for liability and involving a breach of the duty to be careful.  |
| Optimal solution               | The solution, which is the best or most favourable in terms of balancing competing objectives based on a particular decision rule.  |

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | consistant à identifier, analyser, estimer, atténuer et contrôler les risques.   |
| Identification des risques | Processus de détermination de ce qui peut mal se passer, pourquoi et comment.  |
| Incertitude                | Terme autrefois utilisé pour se référer aux situations pour lesquelles la vraisemblance de conséquences potentielles ne peut être décrite par des fonctions de densité de probabilité connues objectivement. Maintenant utilisé pour décrire toute situation sans certitude, décrite ou non par une distribution de probabilité. Dans le contexte de la sécurité des barrages, l'incertitude peut être attribuée à (i) la variabilité inhérente des propriétés et événements naturels, et (ii) une connaissance incomplète des paramètres et des relations entre les données en entrée et en sortie. |
| Jugement de valeur         | Jugement dépendant des valeurs éthiques ou morales d'une personne, ou de sa vision du monde.   |
| Limite                     | En relation avec le risque, niveau qui, une fois dépassé, est inacceptable. Des risques plus élevés ne peuvent être justifiés sauf dans des circonstances extraordinaires (théoriquement lorsque le maintien du risque a été autorisé par un gouvernement ou un organisme de régulation dans l'intérêt le plus large de la société).   |
| Mécanisme de défaillance   | Mécanisme décrit par les processus qui doivent se produire et les états physiques successifs, en accord avec les lois naturelles, pour permettre au mode de défaillance de passer de l'initiation (cause) à la réalisation de l'effet ultime qui nous intéresse.   |
| Mode de défaillance        | Décrit comment la défaillance d'un élément ou d'un composant doit survenir pour causer l'arrêt du fonctionnement du sous-système ou du système.  |
| Négligence                 | Concept qui, dans certains systèmes législatifs, consiste en un manquement au devoir de précaution et implique une responsabilité.   |
| Organisme de régulation    | En général un ministère, un service gouvernemental ou une unité administrative nationale ou provinciale chargé par la loi ou par un décret administratif de la responsabilité de la supervision générale de la conception, de la construction et de l'exploitation en toute sécurité   |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Owner                     | Legal entity, such as a person, company, organization, government unit, public utility, corporation or other entity, which either holds a government license to operate a dam or retains the legal property title on the dam site, dam and/or reservoir, and which is responsible for the safety of the dam.   |
| Population at risk        | All those persons who would be directly exposed to floodwaters within the dam-break affected zone if they took no action to evacuate. See also <i>dam-break affected zone</i> .  |
| Portfolio risk assessment | A particular form of risk assessment or analysis, which aims to make a comparative estimation of risks over all of, or many of, the dams of a single owner or single regulatory or other jurisdiction. A similar approach can be applied to compare risks over the several elements and failure modes of a single dam system. Such studies may be limited to the risk analysis phase (the estimation of risks) but more usually entail at least a preliminary assessment of the tolerability of risks, and preliminary identification of risk reduction measures, as an initial basis for planning, pending completion of more detailed studies.   |
| Probabilistic             | A description of procedures, which are based on the application of the laws of probability. Probabilistic analysis takes explicit account of the random variations in natural and other events and properties. Contrasts with <i>deterministic</i> (qv).   |
| Probability               | A measure of the degree of confidence in a prediction, as dictated by the evidence, concerning the nature of an uncertain quantity or the occurrence of an uncertain future event. It is an estimate of the likelihood of the magnitude of the uncertain quantity, or the likelihood of the occurrence of the uncertain future event. This measure has a value between zero (impossibility) and 1.0 (certainty).<br><br><i>There are two main interpretations:</i><br><br><b><i>Statistical</i></b> - frequency or fraction.<br><br><i>The outcome of a repetitive experiment of some kind like flipping coins. It includes also the idea of <u>population variability</u>. Such a number is called an "objective" probability because it exists in the real world and is in principle measurable by doing the experiment.</i> |

|   |  |
|---|--|
|   | des barrages et des réservoirs, et toute entité ayant été chargée de tout ou partie des tâches ou fonctions administratives ou opérationnelles déléguées par le pouvoir législatif.  |
| Paires f, N   | « f » est la probabilité de perte de vies humaines dues à une rupture de barrage pour chaque scénario étudié, et « N » le nombre de décès pouvant être provoqué par un tel scénario. Le terme « N » peut être remplacé par toute autre mesure quantitative des conséquences de la rupture, par exemple mesure financière. Les triplets scénario, probabilité, conséquence sont les résultats fondamentaux d'une analyse des risques. |
| Personne hypothétique   | Personne conceptuelle présentant des caractéristiques spécifiques et vivant dans des circonstances données, permettant généralement d'estimer « les risques individuels » (voir ce terme). Voir HSE, 2001  |
| Perte   | Tout type de conséquence négative, financière ou autre.  |
| Pertes directes   | Pertes résultant du contact avec la crue. Voir également <i>pertes indirectes</i> .  |
| Pertes indirectes   | Les pertes indirectes sont la différence entre les pertes totales et les <i>pertes directes</i> (voir ce terme).   |
| Plan d'urgence  | Document présentant des procédures d'action pour différents types d'alerte, ainsi que des répertoires de communication et des cartes montrant les niveaux d'eau en amont et en aval et le moment d'arrivée d'une onde de rupture d'un barrage ou des ouvrages annexes.   |
| Population menacée  | Toutes les personnes directement exposées aux eaux de la crue dans la zone affectée par la rupture du barrage, si elles ne sont pas évacuées. Voir également <i>zone affectée par la rupture du barrage</i> .  |
| Principe ALARP<br>(aussi bas<br>que raisonnablement possible) | Ce principe déclare que les risques en dessous de la limite de tolérabilité ne sont tolérables que si les réductions sont impossibles, ou si le coût est grossièrement disproportionné (suivant le niveau de risque) avec les améliorations possibles. [HSE]   |
| Prise de décision<br>orientée risque                          | Prise de décision s'appuyant principalement sur les résultats de l'évaluation des risques. Ceci implique de trouver un équilibre entre les bénéfices sociétaux ou autres et les risques résiduels.   |

**Subjective probability** - Quantified measure of belief, judgement, or confidence in the likelihood of an outcome, obtained by considering all available information honestly, fairly, and with a minimum of bias.

*Subjective probability is affected by the state of understanding of a process, judgement regarding an evaluation, or the quality and quantity of information. It may change over time as the state of knowledge changes.*

Mathematically probability is based on axioms<sup>17</sup> and is a numeric valued set function,  $P(A)$ , defined on the subset of a sample space,  $S$ , which satisfies the following axioms:

1)  $0 \leq P(A) \leq 1, \forall A \in S$

2)  $P(S) = 1.0$

3)  $P(\cup A_j) = \sum P(A_j)$ ,  $A_j$  disjoint events.

Probability density function

A function describing the relative likelihood that a random variable will assume a particular value in contrast to taking on other values.

Qualitative risk analysis

An analysis, which uses word form, descriptive or numeric rating scales to describe the magnitude of potential consequences and the likelihood that those consequences will occur.

Qualitative risk assessment

An assessment based on qualitative risk analysis.

Quantitative risk analysis

An analysis based on numerical values of the potential consequences and likelihood, the intention being that such values are a valid representation of the actual magnitude of the consequences and the probability of the various scenarios which are examined.

Quantitative risk assessment

An assessment based on quantitative risk analysis.

Random variable

A quantity, the magnitude of which is not exactly fixed, but rather the quantity may assume any of a number of values described by a probability distribution.

Regulatory agency  
(synonymous with Regulator)

Usually a government ministry, department, office or other unit of the national or provincial government entrusted by law or administrative act with the responsibility for the general supervision

---

<sup>17</sup> An axiom being a self-evident truth.

Probabiliste Description des procédures basées sur l'utilisation des lois de la probabilité. Une analyse probabiliste prend en cause explicitement les variations aléatoires des événements naturels ou autres. S'oppose à *déterministe* (voir ce terme).

Probabilité Une mesure du degré de confiance d'une prévision, selon toute vraisemblance, concernant la nature d'une quantité incertaine ou l'occurrence d'un événement futur incertain. C'est une estimation de la vraisemblance de l'ampleur d'une quantité incertaine, ou la vraisemblance de l'occurrence d'un événement futur incertain. Cette mesure a une valeur comprise entre 0 (impossibilité) et 1 (certitude).

*Il existe deux interprétations principales :*

**Statistique** - fréquence ou fraction.

*Le résultat d'une expérience répétée, par exemple jeter une pièce. Elle inclut également l'idée de variabilité d'une population. Un tel nombre est appelé probabilité « objective » car il existe dans le monde réel et il est théoriquement mesurable en faisant l'expérience.*

**Probabilité subjective** - Mesure quantifiée d'une croyance, d'un jugement ou confiance en la vraisemblance d'un résultat, obtenu en considérant toutes les informations disponibles de manière honnête, équitable et avec un biais minimum.

*Une probabilité subjective est affectée par l'état de compréhension d'un processus, le jugement concernant une évaluation, ou la qualité et la quantité d'informations. Elle peut évoluer lorsque l'état des connaissances évolue.*

Une probabilité mathématique est basée sur des axiomes<sup>15</sup> et se présente sous la forme d'une fonction numérique  $P(A)$  définie sur un sous-ensemble de l'espace  $S$ , et satisfaisant les axiomes suivants :

$$0 \leq P(A) \leq 1, \forall A \in S$$

$$P(S) = 1.0$$

$$P(\cup A_i) = \sum P(A_i), A_i \text{ événements disjoints.}$$

Probabilité conditionnelle La probabilité d'un résultat, en rapport avec l'occurrence d'un événement donné. Par exemple,

---

<sup>15</sup> Un axiome est une vérité évidente.

of the safe design, construction and operations of dams and reservoirs, as well as any entity to which all or part of the executive or operational tasks and functions have been delegated by legal power.

|                    |   |
|--------------------|---|
| Reliability        | Likelihood of successful performance of a given project element. It may be measured on an annualised basis or for some specified time period of interest or, for example, in the case of spillway gates, on a per demand basis. Mathematically, $\text{Reliability} = 1 - \text{Probability of failure}$ .  |
| Reliability theory | A theory that enables assessment of the probability of failure in terms of the uncertainties in capacity (or resistance) and demand (or load).  |
| Residual risk      | The remaining level of risk at any time before, during and after a program of risk mitigation measures has been taken.  |
| Risk               | Measure of the probability and severity of an adverse effect to life, health, property, or the environment. In the general case, risk is estimated by the combined impact of all triplets of scenario, probability of occurrence and the associated consequence. In the special case, average risk is estimated by the mathematical expectation of the consequences of an adverse event occurring (that is, the product of the probability of occurrence and the consequence, combined over all scenarios).   |
| Risk acceptance    | An informed decision to accept the likelihood and the consequences of a particular risk. See definition of <i>acceptable risk</i> .   |
| Risk analysis      | <p>The use of available information to estimate the risk to individuals or populations, property or the environment, from hazards. Risk analyses generally contain the following steps: scope definition, hazard identification, and risk estimation.</p> <p>Consistent with the common dictionary definition of analysis, viz. “<i>A detailed examination of anything complex made in order to understand its nature or to determine its essential features</i>”, risk analysis involves the disaggregation or decomposition of the dam system and sources of risk into their fundamental parts.</p> |
| Risk assessment    | The process of making a decision recommendation on whether existing risks are tolerable and present risk control measures are adequate, and if not, whether alternative risk control measures are   |

|   |  |
|---|--|
|   | en supposant que la crue a atteint la crête d'un barrage en remblai, la probabilité de rupture du barrage est une probabilité conditionnelle.  |
| Probabilité conjointe                     | Probabilité qu'une ou plusieurs variables prennent certaines valeurs simultanément au cours d'une période donnée.  |
| Probabilité de dépassement annuelle (AEP) | La probabilité estimée qu'un évènement d'une ampleur donnée soit atteint ou dépassé au cours d'une année.  |
| Problème zéro infini                      | Problème en analyse des risques où la valeur attendue se révèle être une mesure inappropriée de l'aversion de la société aux événements de faible probabilité et de très grandes conséquences (catastrophes exceptionnelles). Voir la définition de <i>valeur attendue</i> .   |
| Processus de décision                     | Le processus complet, structuré ou non, qui aboutit à prendre une décision. Le processus peut inclure des interactions entre le décideur et l'équipe d'évaluation des risques, de manière à ce que les deux parties comprennent parfaitement le contexte de décision, et pour prendre en compte les valeurs et préférences du décideur pour la présentation des résultats de l'évaluation des risques. |
| Propriétaire                              | Entité légale, personne, société, organisation, organisme gouvernemental, opérateur public, groupe ou autre entité, qui soit possède une licence gouvernementale pour exploiter le barrage, soit est propriétaire légal du site, du barrage et/ou du réservoir, et qui est responsable de la sécurité du barrage.  |
| Recommandation de décision                | Les conseils donnés au décideur par l'équipe d'évaluation des risques pour l'orienter vers une série d'options, basées sur des facteurs qui tombent dans le domaine de responsabilité et de compétence de l'équipe d'évaluation des risques.   |
| Règle de décision                         | Un principe permettant aux décideurs de juger un certain nombre d'options pour sélectionner la meilleure. Exemple : le principe ALARP.   |
| Réponse du système                        | La façon dont un barrage répond, exprimée comme une probabilité conditionnelle de défaillance à un scénario donné de charges appliquées et de conditions à ce moment là. Voir également <i>courbe de fragilité</i> .   |

justified or will be implemented. Risk assessment incorporates the risk analysis and risk evaluation phases.

Consistent with the common dictionary definition of assessment, viz. *“To analyse critically and judge definitively the nature, significance, status or merit of...[risk]”*, risk assessment is a decision-making process, often sub-optimal between competing interests, that results in a statement that the risks are, or are not, being adequately controlled. Risk assessment involves the analysis, evaluation and decision about the management of risk and all parties must recognize that the adverse consequences might materialise and owners will be required to deal effectively with consequences of the failure event.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Risk-based decision-making | Decision-making, which has as a main input the results of risk assessment. It involves a balancing of social and other benefits and the residual risks.   |
| Risk control               | The implementation and enforcement of actions to control risk, and the periodic re-evaluation of the effectiveness of these actions.  |
| Risk evaluation            | The process of examining and judging the significance of risk. The risk evaluation stage is the point at which values (societal, regulatory, legal and owners) and value judgements enter the decision process, explicitly or implicitly, by including consideration of the importance of the estimated risks and the associated social, environmental, economic, and other consequences, in order to identify and evaluate a range of alternatives for managing the risks. |
| Risk identification        | The process of determining what can go wrong, why and how.  |
| Risk management            | The systematic application of management policies, procedures and practices to the tasks of identifying, analysing, assessing, mitigating and monitoring risk.  |
| Risk mitigation            | A selective application of appropriate techniques and management principles to reduce either likelihood of an occurrence or its adverse consequences, or both.  |
| Sacrifice                  | In relation to the ALARP principle (qv), that which the dam owner and society must give, in money, time, trouble and effort, in order to achieve a reduction in risk.   |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Risque                | Mesure de la probabilité et de la gravité d'un effet indésirable sur la vie, la santé, les biens, ou l'environnement. En général, le risque est estimé par impact combiné de tous les triplets scénario, probabilité d'occurrence, et conséquences. Plus spécifiquement, le risque moyen est estimé par l'expérience mathématique des conséquences de l'occurrence d'un événement indésirable (c'est-à-dire le produit de la probabilité d'occurrence et des conséquences, combiné sur tous les scénarios).                     |
| Risque acceptable     | Un risque que chaque personne concernée dans le cadre de sa vie privée ou professionnelle est prête à accepter, sans demander d'évolution des mécanismes de contrôle de risque. [HSE] Un risque de ce type est considéré comme insignifiant et correctement contrôlé. Une action pour réduire encore un tel risque n'est pas nécessaire en général à moins que des mesures faciles à mettre en œuvre soient possibles à faible coût en termes d'argent, de temps et d'effort.   |
| Risque individuel     | Risque additionnel imposé à une personne du fait de la présence d'une installation dangereuse. Ce supplément de risques s'additionne au risque de base auquel serait exposée cette personne au quotidien si l'installation n'existait pas, ou, dans le contexte de la sécurité des barrages, si le barrage ne se rompt pas.   |
| Risque intolérable    | Risque plus élevé que le <i>risque tolérable</i> (voir ce terme).   |
| Risque non volontaire | Risque imposé à des personnes par un organisme de contrôle, et qui n'est pas assumé par libre choix personnel par ces personnes.  |
| Risque résiduel       | Niveau de risque restant avant, pendant et après un programme de mesures d'atténuation des risques.   |
| Risque sociétal       | Risque de dommages étendus, ou à grande échelle, découlant de l'occurrence d'un événement défini, les conséquences ayant une échelle suffisante pour provoquer une réponse socio-politique. Ce risque (c'est-à-dire la probabilité multipliée par la conséquence) est suffisant pour provoquer des discussions publiques et être effectivement réglementé par la société dans son ensemble à travers ses processus politiques et ses mécanismes réglementaires. Des risques de cette ampleur sont théoriquement irrégulièrement |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Safety coefficient       | In structural and other engineering systems, the ratio of system resistance to the peak design loads, often calculated in accordance with established rules.   |
| Scenario                 | <p>A unique combination of states, such as:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• initiating event;</li> <li>• concurrent wind state;</li> <li>• prior reservoir storage state;</li> <li>• gate operating state;</li> <li>• failure mode;</li> <li>• downstream and tributary concurrent flows; and</li> <li>• factors that would determine the presence of people below a dam at the time of failure.</li> </ul> <p>A scenario defines a suite of circumstances of interest in a risk assessment. Thus there may be loading scenarios, failure scenarios or downstream flooding scenarios.</p>   |
| Sensitivity analysis     | An analysis to determine the rate at which an output parameter varies, given unit change in one or more input parameters. Sensitivity can be visualised as the slope of the output parameter graph or surface at the relevant input parameter value or values.   |
| Societal Risk            | The risk of widespread or large scale detriment from the realisation of a defined risk, the implication being that the consequence would be on such a scale as to provoke a socio/political response, and/or that the risk (that is, the likelihood combined with the consequence) provokes public discussion and is effectively regulated by society as a whole through its political processes and regulatory mechanisms. Such large risks are typically unevenly distributed, as are their attendant benefits. Thus the construction of a dam represents a risk to those close by and a benefit to those further off, or a process may harm some future generation more than the present one. The distribution and balancing of such major costs and benefits is a classic function of Government, subject to public discussion and discussion (HSE, 1995). |
| Standards-based approach | The traditional approach to dams engineering, in which risks are controlled by following established rules as to design events and loads, structural capacity, safety coefficients and defensive design measures.  |

répartis, de la même façon que leurs bénéfices attendus. Par exemple : la construction d'un barrage représente un risque pour la population à proximité et un bénéfice pour des populations éloignées; un processus peut être plus néfaste pour les générations futures que pour la génération actuelle. La répartition et l'équilibrage de coûts et de bénéfices d'une telle ampleur est une fonction typique d'un gouvernement, sujette à discussion publique (HSE, 1995).

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Risque tolérable         | Risque avec lequel la société peut vivre pour pouvoir s'assurer certains bénéfices nets. C'est une catégorie de risques que nous ne considérons pas comme négligeables ou pouvant être ignorés, mais que nous devons garder sous contrôle et réduire encore quand et comme nous le pouvons [HSE, 1999a].                                   |
| Risque volontaire        | Risque qu'une personne affronte volontairement pour en tirer un certain bénéfice.  |
| Risques commensurables   | Risques mesurables selon les mêmes normes que d'autres éléments. En analyse des risques, se réfère en général aux conséquences qui sont mesurables en termes financiers.   |
| Risques environnementaux | Risques pour les écosystèmes naturels ou pour la beauté ou l'agrément de la nature.  |
| Risques tangibles        | Risques qui, s'ils se concrétisaient, auraient des conséquences pouvant être observées et mesurées d'une certaine manière. La destruction d'habitations est une conséquence tangible. La douleur morale et les traumatismes sont des conséquences intangibles.   |
| Sacrifice                | En relation avec le principe ALARP (voir ce terme), les moyens que le propriétaire du barrage et la société doivent mettre en oeuvre en termes d'argent, de temps, de problèmes et d'efforts pour obtenir une réduction des risques.   |
| Scénario                 | Une combinaison unique d'états, par exemple : <ul style="list-style-type: none"><li>• événement initiateur ;</li><li>• conditions de vent ;</li><li>• remplissage préalable du réservoir ;</li><li>• état de fonctionnement des vannes ;</li><li>• mode de défaillance ;</li><li>• débits actuels en aval, y compris affluents ;</li></ul> |

|                 |   |
|-----------------|---|
| State           | A specified value or range of a variable, that is used to describe a situation of interest in a risk assessment study. As examples, there may be a wind velocity state, a peak inflow flood discharge state or a spillway gate operating state.   |
| System          | A system is a defined entity that consists of identifiable, interacting discrete elements. It is an orderly arrangement of these elements (e.g., area within spatial boundaries, structures, mechanical and electrical equipment items, and operators) designed to show the interactions between the various elements in the performance of the system function. For simplicity, the general term system will be used without distinction between various levels of systems.                            |
| System response | How a dam responds, expressed as a conditional probability of failure, to a given scenario of applied loads and concurrent conditions. See also <i>fragility curve</i> .  |
| Tangible risks  | Risks which, if realized, would have consequences that can be seen and usually measured in some way. Destruction of houses is a tangible consequence. Grief and trauma are intangible consequences.   |
| Tolerable risk  | A risk within a range that society can live with so as to secure certain net benefits. It is a range of risk that we do not regard as negligible or as something we might ignore, but rather as something we need to keep under review and reduce it still further if and as we can [HSE, 1999a].   |
| Uncertainty     | Previously used to refer to situations where the likelihood of potential outcomes could not be described by objectively known probability density functions. Now used to describe any situations without sureness, whether or not described by a probability distribution. In the context of dam safety, uncertainty can be attributed to (i) inherent variability in natural properties and events, and (ii) incomplete knowledge of parameters and the relationships between input and output values. |
| Value judgement | A judgement, the outcome of which depends on a person's ethical or moral values or world-view.  |
| Voluntary risk  | A risk that a person faces voluntarily in order to gain some benefit.   |

- facteurs déterminant la présence de population en aval d'un barrage au moment de la rupture.

Un scénario définit une suite de circonstances d'intérêt pour une évaluation des risques. Il existe donc des scénarios de mise en charge, des scénarios de rupture ou des scénarios de crues en aval.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Simulation de Monte Carlo  | Procédure cherchant à simuler des processus stochastiques en sélectionnant aléatoirement des valeurs proportionnellement à leur fonction de densité de probabilité conjointe.  |
| Solution optimale          | Solution qui s'avère la meilleure ou la plus favorable en terme d'équilibre pour des objectifs concurrents, basée sur une règle de décision particulière.  |
| Système                    | Le système est une entité définie consistant en éléments identifiables, discrets et agissant les uns sur les autres. C'est un arrangement ordonné de ces éléments (c'est-à-dire une zone possédant des limites spatiales, des structures, des éléments mécaniques et électriques, et des opérateurs) présenté de manière à montrer les interactions entre les différents éléments lors du fonctionnement du système. Pour des raisons de simplicité, le terme général « système » sera utilisé sans distinction entre les différents niveaux de système. |
| Système d'annonce de crues | Système définissant le niveau de crue pour lequel une alarme sera lancée, par quels moyens physiques elle sera transmise, et les personnes à qui elle sera communiquée. Le système comprend tous les matériels nécessaires, notamment les déclencheurs de dépassement de niveau.   |
| Taux d'actualisation       | Le taux de croissance composé, permettant de convertir une somme actuelle en une somme future (ou inversement), équivalente en termes de préférences sociétales. En évaluation des risques, l'utilisation principale du taux d'actualisation est la comparaison de l'efficacité économique d'options de réduction des risques.   |
| Théorème de Bayes          | Théorème fournissant une base logique pour la réactualisation d'une valeur de probabilité sur la base de nouvelles observations.   |

Warning time (WT)

In relation to methods for estimating loss of life from dam failure, the time from first issue of a warning to the population at risk (PAR) to the time of arrival of dangerous flooding at the PAR.

Zero-infinity problem

The problem in risk analysis whereby expected value is found to be an inappropriate measure of society's aversion to low probability-high consequence events (rare catastrophes). See definition of *expected value*.

|   |   |
|---|---|
| Théorie de la fiabilité                 | Théorie permettant l'estimation de la probabilité de défaillance en termes d'incertitude de capacité (ou de résistance) et de demande (ou charge).  |
| Théorie de l'utilité multicritère       | Théorie définissant les règles pour la sélection de solutions optimales pour des critères concurrents, en tendant vers la maximisation de ceux-ci.  |
| Valeur attendue                         | Tendance moyenne ou centrale d'une variable aléatoire. En relation avec l'analyse des risques, c'est le produit de la probabilité d'un événement et de ses conséquences, sommé sur toutes les valeurs possibles de la variable.     |
| Variable aléatoire                      | Quantité dont la valeur n'est pas exactement fixée, mais qui peut prendre une quelconque valeur décrite par une distribution de probabilités.   |
| Vraisemblance                           | Utilisée comme description qualitative de la probabilité et de la fréquence.  |
| Zone affectée par la rupture de barrage | Zone de crue où les changements de profondeur et de vitesse de l'onde de crue engendrée par la rupture de barrage sont tels que des pertes humaines potentielles ou des dommages aux biens ou à l'environnement sont envisageables. |

---

## 7. REFERENCES / RÉFÉRENCES

---

References cited in all parts of the bulletin, except for Section 4, generally appear in Sub-section 7.1. References, related to Section 4 and mostly provided by national committees, are found in Sub-section 7.2, listed under the name of the country to which the reference relates. References have not been repeated. Accordingly, the reader is advised to look in both of Sub-sections 7.1 and 7.2 when wishing to refer to a reference.

*Les références citées dans toutes les parties de ce bulletin, excepté pour la section 4, apparaissent en général dans la sous-section 7.1. Les références présentées en section 4, et principalement fournies par les Comités nationaux, se trouvent dans la sous-section 7.2, sous le nom du pays correspondant. Les références n'ont pas été répétées. Le lecteur se référera donc aux sous-sections 7.1 et 7.2 s'il désire trouver une référence.*

### 7.1. REFERENCES – GENERAL / RÉFÉRENCES – GÉNÉRALITÉ

- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1986, *Guidelines on Design Floods for Dams*.
- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1994, *Guidelines on Risk Assessment*, January.
- BEDFORD, T. and COOKE, R., 2001, *Probabilistic Risk Analysis – Foundations and Methods*, Cambridge University Press.
- BENJAMIN, J.R. and CORNELL, C.A., 1970, *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers*, McGraw-Hill.
- BOWLES, D.S., 2001, *Advances in the Practice and Use of Portfolio Risk Assessment*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- CIRIA (CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION), 1999, *Risk and Reservoirs*, Draft Report RP568.
- COOKE, R.M., 1991, *Experts in Uncertainty*, Oxford University Press.
- CSA (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION), 1991, *Risk Analysis Requirements and Guidelines*, CAN/CSA-Q634-91, November.
- CSA (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION), 1993, *Guidelines and Requirements for Reliability Analysis Methods*, CAN/CSA Q636-93.
- CSA (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION), 1997, *Risk Management: Guideline for Decision-Makers*, CAN/CSA – Q850-97.
- FISCHHOFF, B., LICHTENSTEIN, S., SLOVIC, P., DERBY, S.L. and KEENEY, R.L., 1981, *Acceptable Risk*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- GULLET, W., 2000, *The Precautionary Principle in Australia: Policy, Law and Potential Precautionary EIA's*, Risk: Health, Safety and Environment, 11(2): 94-124.
- HAASL, D.F., ROBERTS, N.H., VESELY, W.E. and GOLDBERG, F.F., 1980, *Fault Tree Handbook*, US Nuclear Regulatory Commission, NUREG-0492, March.
- HOWSON, P. and URBACH, P., 1993, *Scientific Reasoning – the Bayesian Approach*, Open Court.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1988, *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, Her Majesty's Stationery Office, London.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1992, *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, Her Majesty's Stationery Office, London, revised.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1995, *Generic Terms and Concepts in the Assessment and Regulation of Industrial Risks*. Health and Safety Executive, Her Majesty's Stationery Office, London, UK.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1998, *Assessment Principles for Offshore Safety Cases*, HSG181, HSE Books.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1999a, *Reducing Risks, Protecting People*, Discussion Paper, Risk Assessment Policy Unit, Health and Safety Executive, London.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 1999b, *Reducing Error and Influencing Behaviour*, HSG48, HSE Books, Second Edition.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, UNITED KINGDOM), 2001, *Reducing Risks, Protecting People*, Her Majesty's Stationery Office, St Clements House, 2-16 Colegate, Norwich NR3 1BQ, United Kingdom.
- IAEA (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY), 1992, *The Role of Probabilistic Safety Assessment and Probabilistic Safety Criteria in Nuclear Power Plant Safety*, Safety Series No. 106, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- ICOLD (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS), 1992, *Dam Construction Sites Accident Prevention - Review and Recommendations*, Bulletin No. 80.
- ICOLD (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS), 1998, *Dam-break Analysis - Review and Recommendations*, Bulletin No. 111.
- ICOLD (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS), 2000, *Question 76 – The Use of Risk Analysis to Support Dam Safety Decisions and Management*, Vols. I and V of the Proceedings of the 20th Congress on Large Dams, Beijing, China, September.
- ICOLD (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS), 2001, *Non-structural Risk Reduction Measures – Benefits and Cost to Dams*, Bulletin No. E02.
- KAPLAN, S., 1997, *The Words of Risk Analysis*, Risk Analysis, Vol. 17, No. 4.
- KEENEY, R.L. and RAIFFA, H., 1976, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley, New York.

- KIRWAN, B.A., 1994, *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*, Taylor and Francis.
- LAMBE, T.W., 1973, *Prediction in Soil Engineering*, Rankine Lecture, Geotechnique 23, No. 2, pp. 149-202.
- LEMPÉRIÈRE, F., 1999, *What Sort of Risk Analysis? For Which Dams?*, prepared for ICOLD Committee on Cost of Dams, Hydrocoop, 4 Cité Duplan, 75116 – Paris, France, June.
- LOWRANCE, W.W., 1976, *Of Acceptable Risk: Science and the Determination of Safety*, William Kaufmann, Inc., Los Altos, California.
- MORGAN, M. GRANGER and HENRION, M., 1990, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Risk and Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press.
- NATHAN, R.J, and WEINMANN, P. E, 1999, *Book VI - The Estimation of Large to Extreme Floods*, NCWE (Eds), Australian Rainfall and Runoff, A Guide to Flood Estimation, Volume 1, Institution of Engineers, Australia.
- NETHERLANDS MINISTRY of HOUSING, Physical Planning and Environment, 1989, *Dutch National Environmental Policy Plan – Premises for Risk Management*, Second Chamber of the States General, Session 1988-1989, 21 137, No. 5.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE UNITED STATES), 1996, *Understanding Risk – Making Decisions in a Democratic Society*, National Academy Press, Washington, DC.
- PLANNING NSW, 2002, *Risk Criteria for Land Use Safety Planning, Hazardous Industry Planning Advisory Paper No. 4*, Reprint of Second Edition, March.
- REASON, J., 1990, *Human Error*, Cambridge University Press.
- ROWE, W.D, 1977, *An Anatomy of Risk*, New York, NY, John Wiley and Sons.
- SA/NZS (STANDARDS AUSTRALIA/STANDARDS NEW ZEALAND), 1999, *Risk Management*, AS/NZS 4360:1999.
- STARR, C., 1969, *Social Benefit versus Technological Risk*, Science, Vol. 165, September.
- STEWART, M.G. and MELCHERS, R.E., 1997, *Probabilistic Risk Assessment of Engineering Systems*, Chapman and Hall.
- TAW (CENTRE FOR CIVIL ENGINEERING RESEARCH AND CODES/ TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE ON WATER DEFENCES), 1990, *Probabilistic Design of Flood Defences*, the Netherlands.
- UKOOA (UNITED KINGDOM OFFSHORE OPERATORS ASSOCIATION), 1999, *Industry Guidelines on a Framework for Risk Related Decision Support*, Issue No. 1, May.
- US CORPS of ENGINEERS, 1978, *Recommended Guidelines for Safety Inspection of Dams*, Office of the Chief of Engineers, Department of the Army, Washington DC.

- VAN GELDER, P.H.A.J.M., 1999, *Statistical Methods for the Risk-based Design of Civil Structures*, Publisher S.I. : S.n., ISBN 90-9013452-2, 249 pages.
- VRIJLING, J.K., 2001, *Probabilistic Design of Water Defence Systems in the Netherlands*, Reliability Engineering and System Safety, 74, pp. 337 - 344.
- WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS), 2000, *Dams and Development – A New Framework for Decision-making*, the Report of the World Commission on Dams, November.

## **7.2. REFERENCES – RELATING TO THE SURVEY OF CURRENT APPLICATIONS (SECTION 4) / RÉFÉRENCES RELATIVES À L'ENQUÊTE SUR LES APPLICATIONS ACTUELLES (SECTION 4)**

### References by country / *Références par pays*

In the replies from national committees many references were given. These references, and others cited in Section 4, have been grouped by country. It is possible that a given reference is not easy to obtain. In such a case, the reader is advised to contact the ICOLD-national committee of that country.

*Les Comités nationaux ont fournis de nombreuses références avec leurs réponses. Ces références, et d'autres citées en section 4, ont été groupées par pays. Il peut arriver qu'une référence ne soit pas facile à obtenir. Nous conseillons alors au lecteur de contacter le Comité national CIGB du pays correspondant.*

### **Australia / Australie**

- APPLEYARD, L., 1996, Risk Communication as an Essential Feature of Risk Management, University of New South Wales,.
- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1998a, ANCOLD Guidelines on Risk Assessment- Position Paper on Revised Criteria for Acceptable Risk to Life, August.
- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1998b, *Guidelines for Design of Dams for Earthquake*.
- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 2000, *Guidelines on Selection of Acceptable Flood Capacity for Dams*, March.
- ANCOLD (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 2002, unpublished memo to Chairman, ICOLD Committee on Dam Safety.
- ASH, R.A., BOWLES, D.S., ABBEY, S. and HERWEYNEN, R., 2001, *Risk Assessment: A Complex Exercise but A Worthwhile Tool*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- ASSAF, H., HARTFORD, D.N.D. and CATTANACH, J.D., 1997, *Estimating Dam-break Flood Survival Probabilities*, ANCOLD Bulletin No. 107, December.
- AUSTRALIAN WATER TECHNOLOGIES, 2000, *Spillway Gates Reliability Assessments for Keepit, Copeton, Burrendong and Wyangala Dams*.

- BARKER, M.B. and HOLROYDE, D., 2001, *Risk and Standards-based Approach to Rip Rap Design Alternatives for Grahamstown Dam Stage 2 Augmentation*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- BLAIKIE, N., 1995, *Managing Major Public Infrastructure – A Risk Approach*, ANCOLD Bulletin No. 99, April.
- BOWLES, D.S., PARSONS, A.M., ANDERSON, L.R. and GLOVER, T.F., 1999, *Portfolio Risk Assessment of SA Water's Large Dams*, ANCOLD Bulletin No. 112, August.
- DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND SERVICES, NSW, 1999, *Dambreak Consequences and Remedial Options for Beetaloo Dam*, Report No. DC99176, September.
- DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW)/ SMEC, 2001, *Assessment of Spillway Adequacy Using Joint Probability Approach for Keepit, Copeton, Burrendong, Wyangala and Burrinjuck Dams*.
- DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW), 2001, *Portfolio Risk Assessment (Consequences only) of 30 Dams*.
- DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW), 2001, *Reliability of Spillway Gates and Fuse-plugs and Effects of their Malfunctioning on Dam Safety (8 Dams)*.
- DEPARTMENT OF PLANNING, 1992, *Risk Criteria for Land Use Safety Planning*, Hazardous Industry Planning Advisory Paper No. 4, Sydney, Australia.
- DOUGLAS, K., SPANNAGLE, M. and FELL, R., 1998, *Analysis of Concrete and Masonry Dam Incidents*, UNICIV Report No.-377, August 1998, The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia, ISBN 85841 340.
- DOUGLAS, K.J., SPANNAGLE, M. and FELL, R., 1999, *Analysis of Concrete and Masonry Dam Incidents*, Int. J. Hydropower and Dams, Issue 4, 108-115.
- DOUGLAS, K., SPANNAGLE, M. and FELL, R., 1999, *Estimating the Probability of Failure of Concrete and Masonry Dams*, ANCOLD Bulletin No. 112, August.
- DUNCAN, B., ADEM, J. and PERERA, S., 1998, *Application and Experiences of a Risk Assessment Project*, ANCOLD Bulletin No. 108, April.
- FELL, R., 1996, *Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams under Normal Operating Conditions*, Symposium Proceedings, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- FELL, R., BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R. and BELL, G., 2000, *The Status of Methods for Estimation of the Probability of Failure of Dams for Use in Quantitative Risk Assessment*, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000 International Commission on Large Dams, Paris, pp. 279-302.
- FOSTER, M.A. and FELL, R., 1999, *A Framework for Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams by Piping Using Event Tree Methods*, UNICIV Report No.377, July 1999, the University of New South Wales, Sydney 2052, Australia.

- FOSTER, M.A., FELL, R., 2000, *Use of Event Trees to Estimate the Probability of Failure of Embankment Dams by Piping*, ICOLD Congress, Beijing, Vol.1, 237-260.
- FOSTER, M.A., FELL, R. and SPANNAGLE, M., 1998, *Analysis of Embankment Dam Incidents*, UNICIV Report No. R-374, September 1998. The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia. ISBN: 85841 3493, 282pp.
- FOSTER, M.A., FELL, R. and SPANNAGLE, M., 1999, *Risk Assessment – Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams by Piping*, ANCOLD Bulletin No. 112, August.
- FOSTER, M.A., FELL, R. and SPANNAGLE, M., 2000, *The Statistics of Embankment Dam Failures and Accidents*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, No. 5, pp 1000-1024.
- FOSTER, M.A., FELL, R., DAVIDSON, R. and WAN, C.F., 2001, *Estimation of the Probability of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping Using Event Tree Methods*, NZSOLD/ANCOLD Conference on Dams, Auckland, November.
- GILLON, M., 2001, *Using FMEA to Enhance Dam Safety Programs*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.  
Government of Victoria, 2000, *Occupational Health and Safety (Major Hazard Facilities) Regulations 2000*, SR No. 50/2000.
- HARTFORD, D.N.D., 1998, *This Dam Risk Business – The Challenge of Implementation – Managing the Risks of Risk Assessment*, ANCOLD Bulletin No. 110, December.
- HARTFORD, D.N.D. and STEWART, R.A., 1999, *“PREP” – A Lower Risk Approach to Dam Safety Prioritisation*, ANCOLD Bulletin No. 112, August.
- HARTFORD, D.N.D., 2000, *Judged Values and Value Judgements in Dam Risk Assessment – A Personal Perspective*, ANCOLD Bulletin No. 114, April.
- HELM, G., FRAZER, A., MATWIJOW, P. and PEELIGAMA, U., 1996, *Some Experiences in the Use of Risk Assessment in Managing a Large Dam*, ANCOLD Bulletin No. 104, December.
- HILL, P.I., COOK, D., NATHAN, R.J., CROWE, P.A., GREEN, J.H. and MAYO, N., 2001, *Development of a Comprehensive Approach to Consequence Assessment*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- HOBBS, G. and AZAVEDO, D., 2001, *Spillway Gate Reliability*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- HOWLEY, I., MCGRATH, S. and STEWART, D., 2000, *A Business Risk Approach to Prioritising Dam Safety Upgrading Decisions*, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000 International Commission on Large Dams, Paris, pp. 261-278.
- KROHN, S. and POLGLASE, L., 1995, *Derwent Cascade Spillway Review, A Case Study in the Use of the 1994 ANCOLD Guidelines on Risk Assessment*, ANCOLD Bulletin No. 101, December.

- LANDON-JONES, I., WELLINGTON, N.B. and BELL, G., 1996, *Risk Assessment of Prospect Dam*, ANCOLD Bulletin No. 103, August.
- MCCLELLAND, D.M. and BOWLES, D.S., 1999, *Life-Loss Estimation: What Can We Learn from Case Histories?*, ANCOLD Bulletin No. 113, December.
- MCDONALD, L. A. and WAN, C-F, 1999, *Risk Assessment for Hume Dam - Lessons from Estimating the Chance of Failure*, ANCOLD Bulletin No. 112, August.
- MCDONALD, L., COOPER, B. and WAN, C-F, 2000, *Some Lessons from Use of Risk Assessment to Aid Dam Safety Evaluation*, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000 International Commission on Large Dams, Paris, pp. 279-302.
- MCGRATH, S.G., 2001a, *Risk Assessment and Dams. Is It Safe?* ANCOLD Bulletin No.117, 121-138. April.
- MCGRATH, S.G., 2001b, *To Study International Practice and Use of Risk Assessment in Dam Management*, The Winston Churchill Memorial Trust of Australia.
- PARSONS, A.M., BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R. and GLOVER, T.F., 1999, *Strengthening a Dam Safety Program through Portfolio Risk Assessment*, Hydro Review Worldwide, Vol. 7, No. 4, September.
- PATTLE, A. and KNOOP, B., 1999, *A Risk-based Approach for Optimising Dam Monitoring*, ANCOLD Bulletin No. 111, April.
- RAC ENGINEERS AND ECONOMISTS/ SINCLAIR KNIGHT MERZ, 1998, *Portfolio Risk Assessment of SA Water's Large Dams*, May.
- SALMON, G. and HARTFORD, D., 1995, *Lessons from the Application of Risk Assessment to Dam Safety*, ANCOLD Bulletin No. 101, December.
- SAUNDERS, R.E., ROBERTS, J. and OMUNDSON, B.W., 2001, *Ross River Dam Risk Assessment – A Summary*, ANCOLD Bulletin No. 117, April.
- SINCLAIR KNIGHT MERZ, Hydro Consulting, 2000, *Preliminary Risk Assessment – Wivenhoe, Somerset and North Pine Dams*, March.
- SMEC/RAC, 1995, *Review of Headworks, Technical Report prepared for Office of Water Reform*, DCNR, Victoria, Australia.
- SMITH, D.I., HANDMER, J.W., GREENAWAY, M.A. and LUSTIG, T.L., 1990, *Losses and Lessons from the Sydney Floods of August, 1986*, Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra, September.
- STANDARDS AUSTRALIA/STANDARDS NEW ZEALAND, 1999, *Risk Management*, AS/NZS 4360:1999.  
Sullivan and Wyndham, 1996, *The Application of the Australian Standard on Risk Management*, University of New South Wales.
- WATSON, D.J., BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R.F., GLOVER, T.F., GATWICK, C., JACOB, P. and TARBOX, G., 1997, *State-wide Review of Headworks Dams: Status, Risks, and Future Business Focus, and Approach to Regulation*, Proceedings of the 19th ICOLD Congress on Large Dams, Florence, Italy, May, International Commission on Large Dams, Paris, pp. 59-80.
- WATSON, D. and ADEM, J., 1998, *Risk Assessment of Dams – Future Directions for Victoria*, ANCOLD Bulletin No. 110, December.

## **Brazil / Brésil**

BRAZILIAN COMMITTEE OF DAMS, 2001, *Symposium on Risks Associated with Dams*, Sao Paulo, Brazil, 25-27 July.

## **Canada**

BC HYDRO, 1996, *Risk-based Safety Evaluation of Wahleach Dam Spillway*, BC Hydro Report MEP 11-4.

BIBEAU, J. *et al.*, 1997, *Étude d'onde de submersion – Rivière du Lièvre*, Proceedings of the CDSA/ CANCOLD Conference, Montreal.

BRUCE, I., and OBONI, F., 2000, *Tailings Management Using Quantitative Risk Assessment*, Proceedings of Tailings Dam 2000, March 28-30, Las Vegas Nevada.

DAM SAFETY INTEREST GROUP, 1999, *A Guide to Dam Risk Management – Guiding Principles*, Canadian Electricity Association.

CHOUINARD, L.E., *et al.*, 1998, *Priority Ranking for Maintenance Activities on Embankment Dams*, Proceedings 1st Annual CDA Conference, Halifax.

DUPAK, D.D., SMITH, G.F., 2000, *An Owner's Experience with FMEA* Canadian Dam Association Conference, Regina, September.

DUSHNISKY, K. and VICK, S.G., *Evaluating Risk to the Environment from Mining using Failure Modes and Effects Analysis*, ASCE, GSP No. 58, Uncertainty in the Geologic Environment.

FELL, R., BOWLES, D.S., ANDERSON, L.E., and BELL, G, 2000, *The Status of Methods for Estimation of the Probability of Failure of Dams for Use in Quantitative Risk Assessment*. Proceedings of the 20th ICOLD Congress, Vol. I, Q-76, R-15.

HARTFORD, D.N.D., 2001, *Risk Analysis in Geotechnical Earthquake Engineering, State of the Art and Practice for Embankment Dams*, Proceedings of the 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering, San Diego March.

HARTFORD D.N.D. and STEWART, R.A., 2001, *Handling Uncertainty in Dam Safety Decision-Making*, Proceedings of the Annual Meeting of the US Society on Dams, Denver, July.

HARTFORD, D.N.D., ESTERGAARD, A. H., and LANG, J.G., 2001, *Towards "Values-Based" Selection of Inflow Design Floods*, To be published in the Annual Conference of the Canadian Dam Association, Fredricton, October.

HARTFORD, D.N.D. and SALMON, G.M., 1997, *Credibility and Defensibility of Dam Safety Risk Analyses*, Proceedings of the Hydropower '97 Conference, pp. 387 – 394, Balkema.

HARTFORD, D.N.D., 1998, *This Dam Risk Business – The Challenge of Implementation*, Keynote address at the 1998 ANCOLD/INZSOLD Conference on Dams, Sydney, Australia, 31 August.

- HARTFORD, D.N.D., 2000, *Judged Values and Value Judgements in Dam Risk Assessment*, ANCOLD Bulletin No. 114, pp. 78 – 86.
- HARTFORD, D.N.D., 2001, *Risk Analysis in Geotechnical Earthquake Engineering, State of the Art and Practice for Embankment Dams*, State-of-the-Art and Practice Lecture. Proceedings of the 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering. San Diego, University of Missouri-Rolla.
- HARTFORD, D.N.D. and STEWART, R.A., 2001, *Handling Uncertainty in Dam Safety Decision-Making*, Proceedings of USSD Conference, Denver, Colorado.
- ICME, 1997, *Proceedings of the International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal*, Stockholm, Sweden [May 22-23, 1997].
- ICME, 1998, *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires, Argentina [November 5 & 6, 1998].
- LEE, M.K., LUM, K.Y., and HARTFORD, D.N.D., 1998, *Calculation of the Seismic Risk of an Earth Dam Susceptible to Liquefaction*, Geotechnical Special Publication No. 75, ASCE, Geo Institute, Dakoulas, Yegian and Holts (Eds.), Vol. 2, pp. 1451 – 1460.
- MCLEOD, H. and PLEWES, H., 1999, *Risk Management Analysis*, Canadian Dam Association Annual Conference, Sudbury.
- SALMON and VON HEHN, *Consequence Based Dam Safety Criteria for Floods and Earthquakes*, Workshop on Dam Safety Evaluation, Grindlewald, Switzerland, Vol. III. ICOLD.
- SALMON, G.M. and HARTFORD, D.N.D., 1995, *Lessons from the Application of Risk Assessment to Dam Safety*, ANCOLD Bulletin No. 101, Australian National Committee on Large Dams, December, pp 54 – 67.
- SALMON, G.M., CATTANACH, J.D. and HARTFORD, D.N.D., 1996, *Measuring and Managing the Safety at Wahleach Dam*, Proceedings of the Canadian Dam Safety Conference, Canadian Dam Safety Association, pp. 150 – 164, Riley's.
- STEWART, R.A., 2000, *Dam Risk Management, The ICOLD Lecture*, Proceedings GeoEng2000, Melbourne, Australia, November, Balkema.
- STEWART, R.A., 2000, *Risk Analysis –Why Bother?*, Proceedings of the Annual Conference of the Canadian Dam Association, Regina September.
- TOTH, P, DUPAK, D, BENNETT, T., 2001, *Failure Mode Analysis to Enhance Dam Performance Monitoring*, FEMA Workshop on Dam Safety Inspections, Baltimore, MA February, 2001.

### **Finland / Finlande**

- FINNISH ENVIRONMENT INSTITUTE, 2001, *RESCDAM – Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analyses*, Final Report, June.
- FINISH MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY, 1997, *The Dam Safety Code of Practice*.

NATIONAL BOARD OF WATERS AND THE ENVIRONMENT, 1994, *Dam Safety Code of Practice*, Report 9E, Helsinki

## France

BISTER, D. and LE DELLIU, P., 2000, *Risk Analysis and Danger Flood*, Q.76, R.36, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

DE LALEU, V., REVERCHON, B., CAULT, J.-B., and LEFRANC, M., 2000, *Maintenance Policy of Hydropower Civil Works and Equipments at Électricité de France. Example of Simplified Risk Analysis Applied to the Optimization of the Maintenance of a Long Canal*, Q.76, R.34, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

FRY, J.-J., PEYRAS, L., CATHALA, F., MERIAUX, P. and RIESTERER, J.-M., 2000, *Examples of Interest of Data Bases on Ageing of Water Retaining Structures*, Q.76, R.35, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

PEYRAS, L., ROYET, P., BOISSIER, D. and VERGNE, A., 2002, *Development of a Scenario-based Decision-Making Aid for Dam Ageing Diagnostics*, Journal of Decision Systems, Vol. 11, No. 3-4, pp. 445-458.

PEYRAS L. 2003, *Diagnosis and Risk Analysis of Dam Ageing – Development of Methods to Support Expertise* (in French: *Diagnostic et analyse de risques des barrages - Développement de méthodes d'aide à l'expertise*). Thèse de doctorat spécialité, génie civil : Université Blaise Pascal – Clermont II, 9 janvier, 199 p.

ROYET, P. and CHAUVET, R., 2000, *Preparation of a Specific Emergency Plan (SEP) for Bimont Dam and Information to the Public*, Q.76, R.37, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

ROYET, P., PEYRAS, L., MERIAUX, P., 2000, *Development of an Expert's Decision-Making Aid on Faults Due to Ageing*, Contribution to Q.76, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

## Germany / Allemagne

MARTIN, H. and R. POHL, 1998, *New Aspects of Freeboard Design at Dams*. In: Dam Safety, Berga (ed.). Balkema, Rotterdam.

PLATE, E.J., 1985, *Reliability Concepts in Reservoir Design*. ICWRS-workshop on Risk and Uncertainty in Hydrologic Design, Oslo, Norway.

POHL, R., 1999, *Estimation of the Probability of Hydraulic-hydrological Failure of Dams*. Proc. Int. Workshop on Risk Analysis in Dam Safety Assessment, Taipei, Taiwan.

RETTEMEIER, K., 2000, *Risk Assessment – New Trends in Germany*, Q.76, R.41, Proceedings of the 20th ICOLD congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.

- RISSLER, P., 1988, Auswirkungen von Mess- und Kontrolleinrichtungen auf die Zuverlässigkeit von Dämmen (Effects of surveillance measurements on the reliability of dams), Grundlagenband, Teilband B, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (DGEG), Essen.
- SIEBER, H.U., 2000, *Hazard and Risk Assessment Considerations in German Standards for Dams – Present Situation and Suggestions*, Q.76, R.43, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000.
- WITTKER, W. TÖNNIS, B. and HARTMANN, R.M. 1995, *Standortsicherheitsuntersuchung auf Probabilistischer Basis am Beispiel der Talsperre Schmalwasser*. Wasserwirtschaft 85 (1995) 7/8.

### Italy / Italie

- ENEL ISMES, 1997, *A Simplified Approach for Flood Risk Assessment as a Tool in Cost Benefit Analysis*, Proceedings of the 19th ICOLD Congress, Florence, Italy, Q.72 R.14.

### Netherlands / Pays-Bas

- ALE, B.J.M., 2002, *Risk Assessment Practices in the Netherlands*. Journal of Safety Science, Elsevier. 40 (2002) 105-126.
- VAN DANTZIG, D., 1956, *Economic Decision Problems for Flood Prevention*, Econometrica 24, p. 276 – 287.
- DELTA COMMITTEE, 1960, *Delta Report*, Den Haag, the Netherlands.
- JANSSEN, J.P.F.M. and JORISSEN, R.E., *Integrating Forecast Effects and Operational Behaviour in Designing the Rotterdam Storm Surge Barrier*, Third International Conference on Floods and Flood Management, Florence, Italy, 1992.
- JORISSEN, R. and VRIJLING, J.K., 1998, *The Transition to a Risk-based Concept for Dike Design in the Netherlands*, Paper No. 310 ICCE98.
- NEDEREND, J.M., *Probabilistic Design of the Storm Surge Barrier in the New Waterway, Holland*, Proceedings of the 13th ESReDA Seminar, Industrial Application of Structural Reliability Theory, Paris, France, 2-3 October, 1997.
- TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1999, *Guidelines on Safety Assessment*, in Dutch, the Netherlands.
- TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 2000, *Flooding Risks, A Study of Probabilities and Consequences*, the Netherlands.
- TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1998, *Guidelines on the Basis for Water Defence*, the Netherlands.
- TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1999, *Guidelines for Seadikes and Dikes along Lakes*, the Netherlands.

TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1997, *Guidelines for Hydraulic Structures and Special Constructions*, in Dutch, the Netherlands.

TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1995, *Guidelines for the Sandy Coast*, in Dutch, the Netherlands.

TAW (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE FOR WATER RETAINING STRUCTURES), 1995, *Guidelines for the Design of River Dikes*, (in Dutch), the Netherlands.

VAN MANEN, S., BRINKHUIS, M., *et al.*, 2001, *Pilot Case Flood Risk (PICASO)*, in Dutch, the Netherlands.

VRIJLING, J.K., VAN HENGEL, W., and HOUBEN, R.J., 1998, *Acceptable Risk as a Basis for Design*. Reliability engineering and system safety, p.141-150.

### **New Zealand / Nouvelle-Zélande**

SA/NZA (STANDARDS AUSTRALIA/STANDARDS NEW ZEALAND), 1999, *Risk Management AS/NZS 4360:1999*.

HELM, P, 1996, *Integrated Risk Management for Nature and Technology Disasters*, Tephra. Volume 15 No 1 pp 4-13.

NZSOLD (NEW ZEALAND SOCIETY ON LARGE DAMS), 2000, *Dam Safety Guidelines*, November.

### **Norway / Norvège**

ÅMDAL, T., 1998, *Risk Analysis for a Slab Buttress Dam in Norway*, 66th ICOLD annual meeting, New Delhi.

ÅMDAL, T. 2001, *New Norwegian Guidelines for Risk Assessment*, The International Journal on Hydropower and Dams, 8 (2): pp. 62-66.

ENFO (1999), *The Use of Preliminary Hazard Analyses in Emergency Action Planning for Dams*, Report nr. 354-1999, The Electricity Industry Association, Oslo (in Norwegian).

FUNNEMARK *et al.*, 1998, *Consequence Analysis of Dam-breaks*, in L. Berga (ed) *Dam Safety*, A. A. Balkema, pp. 329-336.

HØEG, K., 1998, *New Dam Safety Legislation and the Use of Risk Analysis, Hydropower and Dams*, Issue 5.

KJELLESVIG, H.M., 2002, *Dam Safety - The Passage of Floods that Exceed the Design Flood*, Dr.ing.thesis, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 193 pp.

MIDTTØMME, G.H., 2002, *Flood Handling and Emergency Action Planning for Dams*, Dr.ing.thesis, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 162 pp.

NORWEGIAN WATER RESOURCES AND ENERGY DIRECTORATE (NVE), 1997, *Guidelines on Risk Analysis for Dams* (in Norwegian).

- NORWEGIAN WATER RESOURCES AND ENERGY DIRECTORATE (NVE), 2001, *Dam Safety Regulations Governing:*
- *Safety and Supervision of Watercourse Structures (in Norwegian)*
  - *Classification of Watercourse Structures*
  - *Qualifications of those Undertaking the Planning, Construction and Operation of Watercourse Structures*

The regulations are available on the Internet (<http://www.nve.no>)

### **Poland / Pologne**

- HRABOWSKI, W. and OPYRCHAŁ, L., 1999, *Concept of Hazard Ratios for Hydro-technical Structures*, in Polish, *Wiadomości IMGW*, 22, z1 s 23-27.
- OPYRCHAŁ, L., HRABOWSKI, W. and JANKOWSKI, W., 1999, *A Risk Analysis for Polish Dams*, Krajowa Konferencja Bezpieczeństwa i Niezawodności KONBIN'99 (Conference of Reliability and Safety), Zakopane 22-25 listopad, T 3, s 7-15.
- OPYRCHAŁ, L., HRABOWSKI, W. and JANKOWSKI, W., 2000, *The Hazard Index of the Polish Hydro-technical Structures*, 20th ICOLD Congress, 19-22 September, 2000 Beijing, Q.76-R.2, s 17-28.
- OPYRCHAŁ, L., 2000, *The Risk of Dam Stability Loss*, 20th ICOLD Congress, Beijing 19-22 September 2000, Q.76-R.3, s 29-33.
- OPYRCHAŁ, L., HRABOWSKI, W. and JANKOWSKI, W., *Wnioski wynikające ze wskaźnika zagrożenia dla polskich budowli hydrotechnicznych*, 2001, *The Conclusions Drawing out of Hazard Index for Polish Hydro-technical Structures*, "Metody Numeryczne do Projektowania i Analizy Konstrukcji Hydrotechnicznych" (Numerical Method to Design and Analysis Hydraulic Structures Conference) Korbielów'.

### **Portugal**

- Portuguese Regulations for Safety of Dams*, 1990.
- Codes of Practice for Dam Design*, 1993.
- Codes for Observation and Inspection of Dams*, 1993.
- Codes for Construction*, 1998.
- Codes for Operation*, still to be issued.
- ALMEIDA, J.M., PEDRO, J.O., GOOMES, A.S., MARTINS, R., COELHO, A.G. and VISEU, T., (WORKGROUP OF THE PORTUGUESE NATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS), 2000, *Safety Assessment of Portuguese Dams: Application of the Regulations for Safety of Dams*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.78-R.24.

### **Russia / Russie**

- BELLENDIR, E.N., SOLSKY, S.V. and NIKITINA, N.Ya., 2000, *Guidelines on Performing Risk of Accidents Analysis for Dams*, The B.E. Vedeneev VNIIG, St. Petersburg., – 60p.

GULYAEV, V.A., SOLSKY, S.V., NIKITINA, N.Ya. and BONDAREVA, N.L., (Open Joint Stock Association “Surgutneftegas” - The B.E. Vedeneev VNIIG”), 2001, Providing for the Safety on Natural-Technical System “Gas Pipe-Line – Ground Hydro technical Facility”, Oil Industry. – No.6. – P.78 – 81 (<http://www.oil-industry.ru>).

RADKEVITCH, D.V., IVASCHENKO, I.N. and ZOLOTOV, L.A., 1997, Summary Quantitative Evaluation of Safety Level for Dams in Operations Dam Engineering Construction, No. 2, p.40-43.

### **Thailand / Thaïlande**

EGAT, *Dam Safety Regulations*.

### **South Africa / Afrique du Sud**

ANG, A.H-S. and TANG, W.H., 1984, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Vol I and II, John Wiley and Sons.

ELGES, H.F.W.K. and KNOESEN, J.S., 1998, *Evaluating Erodible Auxiliary Spillways in South Africa*, Proceedings of the 15th Annual ASDSO Conference: Dam Safety 98, 11-14 Oct, Las Vegas. USA.

HARR, M.E., 1987, *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, McGraw-Hill Book Company.

NORTJE, H.J., 1997, *A Simplified Probabilistic Approach to Manage and Prioritise Dams*, Proceedings of the Annual Conference of the Canadian Dam Safety Association (CDSA).

OOSTHUIZEN, C., VAN DER SPUY, D., BARKER, M.B. and VAN DER SPUY, J., 1991, *Risk-based Dam Safety Analysis*, Dam Engineering, Volume II, Issue 2.

OOSTHUIZEN, C., 2000, *Risk-based Dam Safety Assessment in South Africa*, Selected Contribution on Q.76, Proceedings of the 20th ICOLD Congress on Large Dams, Beijing, China, 19-22 September 2000

PARROCK, A., 1996, *Geotechnical Analysis and Design*, SLOBBG, ARQ, Pretoria.

### **Sweden / Suède**

BERNTSSON, S., 2001, *Dam Safety and Risk Management Case Study: Risk Analysis of Spillway Gate Function*, Royal Institute of Technology, Department of Hydraulic Engineering, Stockholm.

BARTSCH, M. and GUSTAFSSON, A., 2000, *Risk Analysis of the Seitevare Rockfill Dam*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.76-R.40.

ICOLD EUROPEAN SYMPOSIUM, 25 and 27 June, 2001, Summary Report from the Working Group, draft 2001-06-27, planned to be issued in summer 2001, contact J.-J. Fry EDF.

## Switzerland / Suisse

- BURY, K. and KREUZER, H., 1985, *The Assessment of the Failure Probability for a Gravity Dam*, International Water Power and Dam Construction, November.
- BURY, K. and KREUZER, H., 1986, *The Assessment of Risk for a Gravity Dam*, International Water Power and Dam Construction, December.
- BURY, K. and KREUZER, H., 1989, *Reliability Analysis of Mohr Failure Criterion*, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE, March.
- DARBRE, G., 1998, *Probabilistic Assessment of Current Requirements on Uncontrolled Overtopping of Dams during Floods. Closing Report*, Seminar on Risk and Safety of Technical Systems, EPFL, ETHZ, University of St.Gallen.
- DARBRE, G., 2000, *Probabilistic Safety Assessment of Dams*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.76-R.13.
- GRUTTER, F., SCHNITTER, N., 1982, *Analytical Risk Assessment for Dams*, 14th ICOLD Congress, Rio de Janeiro, May 1982, Q.53 R.39.
- KREUZER, H., 1973, *A Probability-based Safety Factor Approach for Arch Dams*, Water Power, December.
- KREUZER, H., 1994, *Uncertainty in Dam Safety Evaluation: an Economic Aspect*, Hydropower and Dams, Issue 5, Vol.1, September.
- KREUZER, H., 2000, *The Use of Risk Analysis to Support Dam Safety Decisions and Management*, General Report to Q.76, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000.
- LAFITTE, R., 1996, *Classes of Risk for Dams*, Hydropower and Dams, Issue 6.
- LAFITTE, R., 1993, *Probabilistic Risk Analysis of Large Dams: Its Value and Limits*, Water Power and Dam Construction, March.
- LOMBARDI, G., 1993, *Concrete Dams and their Foundation – Evaluation for Static Loading*, International Workshop on Dam Safety Evaluation, Vol.4, Grindelwald, April.
- LOMBARDI, G. 1988, *Anlyse Frequentielle des Crues – Distributions Bornées*”, 16th ICOLD Congress, San Francisco, USA, Q.63 R.17.
- LOMBARDI, G., 1988, *Distribution a Double Borne Logarithmique*, 16th ICOLD Congress, San Francisco, USA, Vol. 5 p 2521-2530.
- MOUVET, L. and DARBRE, G., 2000, *Probabilistic Treatment of Uncertainties: Malfunction of Discharge Works and Sliding of Concrete Dam under Earthquake*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.76-R.14.
- SCHNITTER, N., 1979, *Statistics of Dam Failures*, 13th ICOLD Congress, New Delhi, India, Vol. 5, p 488-493.

## **United Kingdom / Royaume-Uni**

- BALL, D.J. and FLOYD F.J., 1998, *Societal Risks*, Report prepared for the Health and Safety Executive.
- HUGHES, A., HEWLETT, H., SAMUELS, P.G., MORRIS, M., SAYERS, P., MOFFAT, I., HARDING, A. and TEDD, P., 2000, *Risk Management for UK Reservoirs*, CIRIA Report C542.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, United Kingdom), (1988) *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, Her Majesty's Stationery Office, London.
- HSE (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, United Kingdom), (1992) *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, Her Majesty's Stationery Office, London, revised version.
- MILLMORE, J.P. and JOHNSTON, T.A., *Dam Safety Legislation and Guidelines – A UK Perspective*.
- SANDILANDS, N.M, and FINDLAY, J.W., 2000, *Development of a Risk-based Approach to Dam Safety Management*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.76-R.10.

## **United States / États-Unis**

- BARNEICH, J., MAJORS, D., MORIWAKI, Y., KULKARNI, R., DAVIDSON, R. 1996, *The Reliability Analysis of a Major Dam Project, Uncertainty in the Geologic Environment: From Theory to Practice*, Proceedings of Uncertainty 1996, Geotechnical Engineering Division / ASCE, August.
- BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R., GLOVER, T.F., CHAUHAN, S.S., 1999, *Understanding and Managing the Risks of Aging Dams: Principles and Case Studies*. Nineteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture, Atlanta Georgia, May.
- BOWLES, D.S. and JOHNSON, D.L., 2001, *ASDSO/FEMA Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams*, Association of State Dam Safety Officials, 2001 Annual Conference Proceedings, Snowbird, Utah, USA, September.
- CHAUHAN, S.C. and BOWLES D.S., 2000, *Bibliography: Risk Assessment for Dams*, Prepared by Institute for Dam Safety Risk Management, Utah State University, Logan, Utah for the ASDSO/FEMA Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams, Available from ASDSO, March.
- CYGANIEWICZ, J.M., SMART, J.D., 2000, *US Bureau of Reclamation's Use of Risk Assessment in Dam Safety Decision-Making*, 20th ICOLD Congress, Beijing, China, 19-22 September 2000, Q.76-R.23.
- DEWEY, R., HENNIG, C., MUMFORD, J., SNYDER, J. and ANDERSON, L., 1998, *Dam Safety Decision-Making in a Risk Analysis Environment – Case Studies – Salmon Lake Dam and Conconully Dam*, Proceedings of the Eighteenth USCOLD (US Committee on Large Dams) Annual Meeting and Lecture, US Society on Dams, 1616 Seventeenth Street, Suite 483, Denver, CO 80202, USA.

- EPRI (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE), 1989, *Advanced Liquid Water Reactor Requirements Document: Appendix A, Probabilistic Risk Assessments – Key Assumptions and Ground Rules*, June.
- FERC (FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, 2003, *Dam Safety Performance Monitoring Program*, Chapter 14, Engineering Guidelines.
- HENNIG, C., DISE, K., MULLER, B., *Achieving Public Protection with Dam Safety Risk Assessment Practices*, Risk-based Decision-Making in Water Resources V111, Proceedings of the Eighth Conference, ASCE.
- INSTITUTE FOR DAM SAFETY RISK MANAGEMENT, 2001, *Report on the ASDSO/FEMA Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams*, Utah State University, Logan, Utah, available from ASDSO, July.
- JOHNSON, D.L. and LA VASSAR, J., 2000, *Application of Risk Concepts in a Standards-Based Framework for Dam Safety in the State of Washington*. ASDSO/FEMA Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams, Logan Utah, March.
- JOHNSON, D.L., 2000, *Risk is not a Four Letter Word: Ten Years of Success Using a Risk-Based Dam Safety Approach in Washington*, Association of State Dam Safety Officials, 2000 Annual Conference Proceedings, Providence, Rhode Island, USA, September.
- MCCELELLAND, D.M. and BOWLES, D.S., 2002, *Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment - A Review and New Approach*, Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers.
- STEDINGER, JR, HEATH, DC, THOMPSON, K., 1996, *Risk Analysis for Dam Safety Evaluation: Hydrologic Risk*, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, IWR Report 96-R-13
- US BUREAU OF RECLAMATION, Department of the Interior. 1997, *Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision-Making*, April.
- US BUREAU OF RECLAMATION, Department of the Interior. 1999, *Dam Safety Risk Assessment Methodology Version 3.3*, Technical Service Center, Denver Colorado, September.
- US BUREAU OF RECLAMATION, Department of the Interior. 2003, *Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision-Making*, February.
- USCOLD (US COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1998, *Proceedings of the 1998 USCOLD Annual Lecture - Managing the Risks of Dam Project Development, Safety and Operation*, Buffalo, New York, August.
- USSD (UNITED STATES SOCIETY ON DAMS), 2003, *Proceedings of the 2003 USSD Annual Lecture – Reducing Risk from Extreme Events*, Charleston, South Carolina, April.
- USSD (UNITED STATES SOCIETY ON DAMS), 2003, *White Paper on Dam Safety Risk Assessment*, Technical Report, 1616 Seventeenth Street, No. 483, Denver, CO 80202, USA.
- WALZ, A., 2000, *Profile of the Corps of Engineers Embankment Dams*, presentation in possession of A. Walz, US Corps of Engineers, Washington, January.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS:

*Major Rehabilitation Evaluation Report Guidance – EP1130-2-500, Chapter 3*

*Reliability Assessment of Navigation Structures – ETL 1110-2-532*

*Dam Safety - Organization, Responsibilities, and Activities - ER 1110-2-1156*

*Dam Safety Assurance Program - ER 1110-2-1150*

VICK, S.G., 2003, *Degrees of Belief: Subjective Probability and Engineering Judgement*, ASCE Press, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA, United States.

### **Yugoslavia / Yougoslavie**

YUCOLD (YUGOSLAV NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1997, *Methodology for Ranking Dams by the Hazardous Potential*, October.

TUCOVIC, I., 1997, *Safety Re-evaluation of Existing Dams – Motives and Procedures*, in Serbian, Congress of Yugoslav Committee on Large Dams, Budva.

TUCOVIC, I., 1999, *On Some Current Problems in Safety Evaluation on Large Dams in Yugoslavia*, in Serbian, Vodoprivreda (Water Resources Journal), Belgrade.

**Argentina, Cyprus, Finland, Greece, Libya, Czech Republic, Turkey / Argentine, Chypre, Finlande, Grèce, Libye, République Tchèque, Turquie**

No references reported / Pas de références.



---

# ANNEXE A

---

## LISTE D'ÉTUDES DE CAS

### PRÉAMBULE

Lors de la préparation de ce bulletin, les Comités nationaux membres du Comité de sécurité des barrages ont été invités à proposer des études de cas illustrant la façon dont sont utilisés les principes de l'évaluation des risques pour la gestion de la sécurité des barrages. Deux comités nationaux, ceux des Pays-Bas et des États-Unis ont proposé un total de cinq études de cas qui sont présentées dans le chapitre suivant. Nous avons envisagé d'inclure le texte complet de ces articles dans ce bulletin, mais pour un certain nombre de raisons nous avons décidé de n'inclure que la référence et un résumé, tous les articles ayant été publiés par ailleurs.

L'utilisation de l'évaluation des risques à la sécurité des barrages est une activité en cours de développement, et elle n'est pas encore largement acceptée par la profession. La CIGB n'est donc pas en position d'adopter les méthodes décrites dans les études de cas présentées. Nous considérons donc que les articles mentionnés sont représentatifs de la manière dont certaines organisations utilisent l'évaluation des risques pour des barrages isolés ou des ensembles de barrages à l'heure actuelle. Ce n'est pas parce que ces organisations utilisent de telles procédures et/ou méthodologies que d'autres doivent faire la même chose de la même manière. En réalité, avec l'évolution des programmes, les organisations peuvent changer leur approche, leur méthodologie et leurs procédures en acquérant de l'expérience. C'est pourquoi, le fait de mentionner ces articles n'implique pas une caution formelle des approches décrites, soit par le comité national, soit par la CIGB, mais simplement une présentation de l'utilisation par des organisations spécifiques de l'évaluation des risques dans leur programme aujourd'hui, et pas nécessairement demain.

### ÉTUDES DE CAS SOUMISES PAR LES COMITES NATIONAUX

#### Pays-Bas

Première étude de cas – Vrijling, J.K., 2001, *Probabilistic Design of Water Defence Systems in the Netherlands*, Reliability Engineering and System Safety, 74, pp. 337-344. – **a risk-based approach for assessing the safety of dikes in the Netherlands, including proposals on tolerable risks.**

*Résumé* – Après la catastrophe de 1953, une approche statistique des marées de tempête a été choisie, et une marée de tempête extrapolée devint la base pour la conception des digues. Au cours des dernières décennies, le développement de la théorie de la fiabilité a rendu possible l'évaluation des risques d'inondations en prenant en compte les multiples mécanismes de défaillance sur une portion de digues, et l'effet de longueur. Il faut remarquer que l'activité économique dans les zones protégées a considérablement augmenté depuis les années 50, et que d'autres

---

# APPENDIX A

---

## LIST OF CASE STUDIES

### PREAMBLE

In the course of preparing this bulletin, the member national committees of the Committee on Dam Safety were invited to submit case studies, which would illustrate the way in which the principles of risk assessment are currently being applied in the management of dam safety. Two national committees, those of the Netherlands and the United States, submitted a total of five case studies as listed under the next heading. Consideration was given to including the full text of these papers in this bulletin, but for a number of reasons it was decided to include only the reference and abstract, all of the papers having been published elsewhere.

Because practice in the application of risk assessment to dam safety is still emerging, and is yet to receive the widespread support of the dams engineering profession, ICOLD is not in a position to endorse the methods described in the listed case studies. It is considered that these listed papers are representative of the way that some organizations are using risk assessment for individual dams or portfolios of dams at the present time. Just because these organizations include such procedures and/or methodologies in their programs should not be taken to mean that others would either do the same thing or even do it the same way. In fact, as programs evolve with time, organizations may change their thinking or as more experience is gained change their approaches, methodologies, and procedures. Therefore, the listing of these papers does not represent a formal endorsement of the approaches described by either the relevant national committee or ICOLD, but rather represents how specific organizations are using risk assessment in their programs today and not necessarily tomorrow.

### CASE STUDIES SUBMITTED BY NATIONAL COMMITTEES

#### The Netherlands

First case study – Vrijling, J.K., 2001, *Probabilistic Design of Water Defence Systems in the Netherlands*, Reliability Engineering and System Safety, 74, pp. 337-344. – **a risk-based approach for assessing the safety of dikes in the Netherlands, including proposals on tolerable risks.**

*Abstract* – After the disaster in 1953 a statistical approach to the storm surge levels was chosen and an extrapolated storm surge level would be the basis for dike design. In recent decades, the development of reliability theory made it possible to assess the flooding risks taking into account the multiple failure mechanisms of a dike section and the length effect. It is pointed out that economic activity in the protected areas has grown considerably since the 1950s and that even more ambitious private and public investments, particularly in infrastructure, are planned.

investissements publics et privés sont prévus, notamment pour les infrastructures. Avant toute autre considération, la sécurité d'une population croissante est en jeu. Ces considérations justifient une réévaluation fondamentale de l'acceptabilité des risques d'inondations.

MOTS CLÉS Conception probabiliste, Système de défense contre les eaux, Risques d'inondation, Maintenance, Sécurité.

Deuxième étude de cas – Janssen, J.P.F.M. et Jorissen, R.E., *Integrating Forecast Effects and Operational Behaviour in Designing the Rotterdam Storm Surge Barrier*, Troisième Conférence Internationale sur les Crues et la Gestion des Crues, Florence, Italie, 1992. – **The use of probabilistic approaches in designing the operating rules for a barrier with many similarities to spillway gates for dams.**

Résumé – En 1989, le gouvernement néerlandais a décidé de construire un barrage anti-tempête au *New Waterway* près de Rotterdam. Pour être faisable, la barrière devait atteindre deux objectifs principaux :

- fréquence de fermeture inférieure à une fois tous les dix ans ;
- réduction des niveaux d'eau de projet (DWL) à deux endroits représentatifs.

Le niveau d'eau de projet (DWL), un niveau d'eau avec une fréquence de dépassement déterminée, est fortement corrélé avec la sécurité contre les inondations. Le DWL est affecté par la fermeture de la barrière. De par sa nature statistique, le DWL ne peut être déterminé que par calcul probabiliste. A l'aide d'un modèle de réseau hydraulique, les fonctions de distribution de probabilité des conditions aux limites sont transformées en fonctions de distribution des niveaux d'eau dans la région du delta. Les contraintes hydrauliques sur la barrière sont également calculées. Dans ces calculs, le comportement opérationnel de la barrière et la précision du niveau maximum de la mer prévu (PMSL) jouent un rôle central.

Troisième étude de cas – Nederend, J.M., *Probabilistic Design of the Storm Surge Barrier in the New Waterway, Holland*, Actes du 13<sup>e</sup> Séminaire ESReDA, Industrial Application of Structural Reliability Theory, Paris, France, 2-3 octobre, 1997. – **A case of a complex barrier system totally designed on a probabilistic basis.**

Résumé – Après la catastrophe de 1953, au cours de laquelle 2 000 personnes ont trouvé la mort, la Loi Delta est entrée en vigueur. La loi impose de raccourcir la côte en fermant la plupart des goulets de marée et de renforcer les digues restantes. L'une des dernières défenses contre les eaux construites a été le barrage anti-tempête du *New Waterway*.

L'objectif principal de ce barrage est de protéger les personnes et les biens dans l'arrière pays. La disponibilité et la fiabilité de ce barrage sont donc soumises à de fortes exigences. Le *Rijkswaterstaat* (Ministère des travaux publics) a donné trois prescriptions sur les mécanismes de défaillance principaux : (1) probabilité de non fermeture (2) probabilité de non ouverture et (3) probabilité de rupture.

Pour se conformer à ces prescriptions, le barrage a été divisé en sous-systèmes bien définis. Une analyse de défaillance a été effectuée grâce à des techniques d'estimation de la fiabilité des structures, des systèmes et des hommes.

Moreover the safety of a growing population is at stake. These considerations justify a fundamental reassessment of the acceptability of the flood risks.

**KEY WORDS:** Probabilistic Design, Water Defence Systems, Flood Risk, Maintenance, Safety.

Second case study – Janssen, J.P.F.M. and Jorissen, R.E., *Integrating Forecast Effects and Operational Behaviour in Designing the Rotterdam Storm Surge Barrier*, Third International Conference on Floods and Flood Management, Florence, Italy, 1992. – **the use of probabilistic approaches in designing the operating rules for a barrier with many similarities to spillway gates for dams.**

*Abstract* – In 1989 the Dutch government decided to build a storm surge barrier in the New Waterway near Rotterdam. To be feasible the barrier had to meet two main goals:

- closing frequency less than once every 10 years
- prescribed reduction of design water levels (DWL) at two representative locations.

The Design Water Level (DWL), a water level with a prescribed frequency of exceedance, strongly determines the safety against flooding. The DWL is affected by barrier closure. Because of its statistical nature, the DWL can only be determined by probabilistic calculation. By means of a hydraulic network model the probability distribution functions of the boundary conditions are transformed into probability distribution functions of the water levels in the delta area. The hydraulic loads on the barrier are calculated as well. In these calculations both the operational behaviour of the barrier and the accuracy of Predicted Maximum Sea Level (PMSL) play a central role.

Third case study – Nederend, J.M., *Probabilistic Design of the Storm Surge Barrier in the New Waterway, Holland*, Proceedings of the 13th ESReDA Seminar, Industrial Application of Structural Reliability Theory, Paris, France, 2-3 October, 1997. – **a case of a complex barrier system totally designed on a probabilistic basis.**

*Abstract* – After the great flood in 1953, when nearly 2000 people died, the Delta Act was conceived. The Act prescribed the shortening of the coastline by closing off the majority of the tidal inlets and the strengthening of the remaining dikes. One of the last flood defences to be built was the storm surge barrier in the New Waterway.

The main objective of the surge barrier is to generate safety for men and goods in the hinterland. Consequently high requirements are put on the availability and reliability of the barrier. The Rijkswaterstaat (Ministry of Public Works) stated three requirements on the major failure mechanisms: (1) probability of not closing (2) probability of not opening and (3) probability of collapse.

For dealing with these requirements the barrier system has been divided into well-defined subsystems. Failure analysis has been performed by using techniques for assessing structural, system and human reliability.

## États-Unis

Quatrième étude de cas – Bowles, D.S., Parsons, A.M., Anderson, L.R. et Glover, T.F., 1999, *Portfolio Risk Assessment of SA Water's Large Dams*, Bulletin ANCOLD N° 112, août. – **An example of the use of the PortFolio Risk Assessment (PFRA) approach to guide the planning of a dam safety improvement program.**

*Résumé* – Cet article présente l'évaluation multiple des risques (PRA) mis en œuvre pour 17 grands barrages de *SA Water*, les informations obtenues à partir de la PRA, et son utilisation par *SA Water*. La PRA est destinée à fournir une évaluation de base pour les barrages existants et à permettre de fixer les priorités des recherches et des mesures potentielles de réduction des risques dans l'avenir. La PRA comprend une estimation technique de reconnaissance et une évaluation des risques. Ces évaluations ont été effectuées pour les crues, les tremblements de terre et les charges statiques. Différentes mesures de réduction des risques structurelles et non structurelles ont été développées et évaluées. Les informations de la PRA peuvent être utilisées comme données pour les prévisions d'investissement, les audits d'acquisition, les prévisions d'alerte et les estimations de criticité commerciale, les évaluations de financement des pertes et programmes d'assurance, et comme base ferme pour la surveillance et l'auscultation, l'exploitation et la maintenance, et la préparation des situations d'urgence.

Cinquième étude de cas – Dewey, R., Hennig, C., Mumford, J., Snyder, J. et Anderson, L., 1998, *Dam Safety Decision-Making in a Risk Analysis Environment – Case Studies – Salmon Lake Dam and Conconully Dam*, Actes du 18<sup>e</sup> meeting et cours annuel USCOLD (*US Committee on Large Dams*), US Society on Dams, 1616 Seventeenth Street, Suite 483, Denver, CO 80202, Etats-Unis. – **An example of the application of risk assessment principles to dam safety decision-making on individual dams.**

*Résumé* – L'USBR a utilisé récemment des techniques d'analyse des risques comme outil additionnel pour le diagnostic et la prise de décision. Un des objectifs principaux de l'analyse des risques est de permettre une meilleure compréhension des facteurs de risque et de proposer une gamme d'options en termes de réduction des risques. Le processus d'analyse des risques s'est révélé très utile pour identifier tous les modes de défaillance potentiels sur un barrage, les risques croisés et les risques sur d'autres barrages de *Reclamation*.

Cette étude présente deux barrages pour lesquels l'analyse des risques a été utilisée pour prendre des décisions dans le domaine de la sécurité, et les différents points liés à la sécurité, les modes de défaillance potentiels, les conséquences et les évaluations relatives de risque pour les deux barrages. Les décisions dans le domaine de la sécurité, les nouvelles perceptions découlant du processus d'analyse des risques, leur transmission au public et les résultats sont également présentés.

## AUTRES ÉTUDES DE CAS

D'autres études de cas, illustrant comment les principes de l'évaluation des risques ont été utilisée pour la gestion des risques sur les barrages, peuvent être trouvées dans :

## United States

Fourth case study – Bowles, D.S., Parsons, A.M., Anderson, L.R. and Glover, T.F., 1999, *Portfolio Risk Assessment of SA Water's Large Dams*, ANCOLD Bulletin No. 112, August. – **an example of the use of the Portfolio Risk Assessment (PFRA) approach to guide the planning of a dam safety improvement program.**

*Abstract* – This paper summarises the Portfolio Risk Assessment (PRA) process that was implemented for SA Water's 17 large dams, the information obtained from the PRA, and its use by SA Water. The PRA was designed to provide a baseline assessment of the existing dams and an initial prioritisation of future investigations and possible risk reduction measures. The PRA comprised a reconnaissance-level engineering assessment and risk assessment. These assessments were performed for floods, earthquakes, and static loading. Various structural and non-structural risk reduction measures were developed and evaluated. Information from the PRA can be used to provide inputs to capital budgeting, due diligence and liability evaluations, contingency planning and business criticality assessment, evaluation of loss financing and insurance programs, and a firm basis for monitoring and surveillance, operations and maintenance, and emergency preparedness planning.

Fifth case study – Dewey, R., Hennig, C., Mumford, J., Snyder, J. and Anderson, L., 1998, *Dam Safety Decision-Making in a Risk Analysis Environment – Case Studies – Salmon Lake Dam and Conconully Dam*, Proceedings of the Eighteenth USCOLD (US Committee on Large Dams) Annual Meeting and Lecture, US Society on Dams, 1616 Seventeenth Street, Suite 483, Denver, CO 80202, USA. – **an example of the application of risk assessment principles to dam safety decision-making on individual dams.**

*Abstract* – Reclamation has recently been applying risk analysis techniques as an additional dam safety diagnostic and decision-making tool. A major purpose of risk analysis is to achieve a better understanding of risk factors and a spectrum of alternatives in terms of risk reduction. The risk analysis process has proven very useful in identifying the full range of potential failure modes at a dam and the risks relative to each other and to other Reclamation dams.

This paper presents two dams where risk analysis approaches were used in making dam safety decisions. It presents the dam safety issues, potential failure modes, consequences, and related risk estimates for both dams. The dam safety decisions, new insights derived through the risk analysis process, the public perception to the risk analysis approaches and outcomes will also be discussed.

## OTHER CASE STUDIES

Further case studies, illustrating how risk assessment principles are being applied to dam safety management, can be found from:

- La liste des références données dans la sous-section 7.2 de ce bulletin
- Les Volumes 1 et V – Question 76 - Actes du 20<sup>e</sup> Congrès CIGB, Beijing, 2000

Le lecteur intéressé pourra consulter ces différentes sources. Cependant, les références suivantes extraites de la sous-section 7.2 de ce bulletin donneront une bonne appréciation des approches utilisées actuellement :

### **Australia/Australie**

AUSTRALIAN WATER TECHNOLOGIES, 2000.

BARKER, M.B. & HOLROYDE, D., 2001.

DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW)/ SMEC, 2001.

DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW), 2001 – premier papier.

DLWC (DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION, NSW), 2001 – deuxième papier.

DUNCAN, B., ADEM, J. & PERERA, S., 1998.

HARTFORD, D.N.D. & STEWART, R.A., 1999.

HELM, G., FRAZER, A., MATWIJOW, P. & PEELIGAMA, U., 1996.

KROHN, S. & POLGLASE, L., 1995.

LANDON-JONES, I., WELLINGTON, N.B. & BELL, G., 1996.

MCDONALD, L. A. & WAN, CHI-FAI, 1999.

MCDONALD, L., COOPER, B. & WAN, C-F., 2000.

PATTLE, A. & KNOOP, B., 1999.

SAUNDERS, R.E., ROBERTS, J. & OMUNDSON, B.W., 2001.

SINCLAIR KNIGHT MERZ, Hydro Consulting, 2000.

WATSON, D.J., BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R.F., GLOVER, T.F., GATWICK, C., JACOB, P. & TARBOX, G., 1997.

### **Canada**

BC HYDRO, 1996.

DUPAK, D.D. & SMITH, G.F., 2000.

LEE, M.K., LUM, K.Y. & HARTFORD, D.N.D., 1998.

SALMON, G.M. & HARTFORD, D.N.D., 1995.

SALMON, G.M., CATTANACH, J.D. & HARTFORD, D.N.D., 1996.

- the list of references given in Sub-section 7.2 of this bulletin;
- Volumes 1 and V – dealing with Question 76 - of the Proceedings of the 20th ICOLD Congress, Beijing, 2000.

The interested reader is encouraged to work through those sources. However, the following references from Sub-section 7.2 of this bulletin would give a good appreciation of the approaches that are being applied currently:

### **Finland/Finlande**

FINNISH ENVIRONMENT INSTITUTE, 2001.

### **France**

DE LALEU, V., REVERCHON, B., CAULT, J.-B. & LEFRANC, M., 2000.

FRY, J.-J., PEYRAS, L., CATHALA, F., MERIAUX, P. & RIESTERER, J.-M., 2000.

PEYRAS, L., ROYET, P., BOISSIER, D. et VERGNE, A.

ROYET, P. & CHAUVET, R., 2000.

ROYET, P., PEYRAS, L. & MERIAUX, P., 2000.

### **Germany/Allemagne**

MARTIN, H. & POHL, R., 1998.

### **Netherlands/Pays-Bas**

JORISSEN, R. & VRIJLING, J.K., 1998.

VAN MANEN, S., BRINKHUIS, M., *et al.*, 2001.

### **Norway/Norvège**

ÅMDAL, T., 1998.

### **Poland/Pologne**

OPYRCHAL, L., HRABOWSKI, W. & JANKOWSKI, W., 2000.

### **South Africa/Afrique du sud**

NORTJE, H.J., 1997.

OOSTHUIZEN, C., VAN DER SPUY, D., BARKER, M.B. & VAN DER SPUY, J., 1991.

**Sueden/Suède**

BERNTSSON, S., 2001.

BARTSCH, M. & GUSTAFSSON, A., 2000.

**Switzerland/Suisse**

BURY, K. & KREUZER, H., 1985.

DARBRE, G., 1998.

DARBRE, G., 2000.

MOUVET, L. & DARBRE, G., 2000.

**United Kindom/Royaume-Uni**

SANDILANDS, N.M, & FINDLAY, J.W., 2000.

**United States/États-Unis**

BARNEICH, J., MAJORS, D., MORIWAKI, Y., KULKARNI, R. & DAVIDSON  
R. 1996.

BOWLES, D.S., ANDERSON, L.R., GLOVER T.F. & CHAUHAN, S.S., 1999.

CYGANIEWICZ, J.M. & SMART, J.D, 2000.

Imprimerie de Montligeon  
61400 La Chapelle Montligeon  
Dépôt légal : Janvier 2005  
N° 23647  
ISSN 0534-8293





---

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

***Copyright © ICOLD - CIGB***

*Archives informatisées*  *Computerized Archives*

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :  
André Bergeret - 2005*



---

**International Commission on Large Dams –  
Commission Internationale des Grands Barrages  
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**