

# TAILINGS DAM SAFETY.

*Guidelines.*

# BARRAGES DE STÉRILES MINIERS SÉCURITÉ.

*Recommandations.*

**Bulletin 74**



**1989**



Original text in English  
French translation by J.-M. Dupas (France)

*Texte original en anglais*  
*Traduction en français par J.-M. Dupas (France)*

**AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:**

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

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 et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

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 referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

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 and to apply accurately the recommendations to any particular case.

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.

# **TAILINGS DAM SAFETY.**

---

*Guidelines.*

# **BARRAGES DE STÉRILES MINIERS SÉCURITÉ.**

---

*Recommandations.*

---

Commission Internationale des Grands Barrages 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : 40 42 67 33 - Télex : 641320 F (ICOLD) - Fax : 40 42 60 71

---

**COMMITTEE ON MINE & INDUSTRIAL TAILINGS DAMS  
COMITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERS ET INDUSTRIELS  
(1983-1989)**

**Chairman/Président**

<b>South Africa/Afrique du Sud</b>	<b>G. H. H. LEGGE (1)</b>
<b>Great Britain/Grande-Bretagne</b>	<b>A. D. M. PENMAN (2)</b>

**Members/Membres**

<b>Australia/Australie</b>	<b>M. D. FITZPATRICK</b>
<b>Brazil/Brésil</b>	<b>F. MIGUEZ DE MELLO</b>
<b>Bulgaria/Bulgarie</b>	<b>B. ABADJIEV</b>
<b>Canada/Canada</b>	<b>E. J. KLOHN</b>
<b>Chile/Chili</b>	<b>M. NENADOVICH (3)</b> <b>G. NOGUERA (4)</b>
<b>Czechoslovakia/Tchécoslovaquie</b>	<b>V. BROZA</b>
<b>France/France</b>	<b>G. L'HÉRITEAU (5)</b> <b>J.-M. DUPAS (6)</b>
<b>Italy/Italie</b>	<b>F. CAPOZZA (7)</b>
<b>South Africa/Afrique du Sud</b>	<b>J. R. WILLIAMSON (8)</b>
<b>Sweden/Suède</b>	<b>J. EURENIUS</b>
<b>USA/États-Unis</b>	<b>W. WAHLER (9)</b> <b>E. S. SMITH (10)</b>
<b>Yugoslavia/Yougoslavie</b>	<b>I. KATALINIC</b>

- 
- (1) Chairman/Président (1983-1987)  
(2) Chairman/Président (1987-1989)  
Member/Membre (1983-1987)  
(3) Member until 1987/Membre jusqu'en 1987  
(4) Member since 1987/Membre depuis 1987  
(5) Member until 1987/Membre jusqu'en 1987  
(6) Member since 1987/Membre depuis 1987  
(7) Member since 1986/Membre depuis 1986  
(8) Member/Membre (1987-1989)  
(9) Member until 1985/Membre jusqu'en 1985  
(10) Member since 1985/Membre depuis 1985
-

---

## SOMMAIRE

---

### AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION
  2. ASPECTS SPÉCIFIQUES DES BARRAGES DE STÉRILES
  3. CLAUSES GÉNÉRALES
  4. PROJET
  5. CONSTRUCTION
  6. EXPLOITATION
  7. RESTRUCTURATION
  8. GLOSSAIRE
- ANNEXE A - Sécurité des barrages de stériles
- ANNEXE B - Recommandations concernant la législation

---

## CONTENTS

---

### FOREWORD

1. INTRODUCTION
  2. UNIQUE ASPECTS OF TAILINGS DAMS
  3. GENERAL PROVISIONS
  4. DESIGN
  5. CONSTRUCTION
  6. OPERATION
  7. REHABILITATION
  8. GLOSSARY
- APPENDIX A - Safety of tailings dams
- APPENDIX B - Guidelines on legislation

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	8
1. INTRODUCTION .....	10
2. ASPECTS SPÉCIFIQUES DES BARRAGES DE STÉRILES .....	14
2.1. Description des stériles .....	14
2.2. Sites de stockage de stériles .....	16
2.3. Projet des barrages de stériles .....	16
2.4. Construction des barrages de stériles .....	18
2.5. Étapes de la vie des barrages de stériles .....	22
2.6. Sécurité des barrages de stériles .....	24
3. CLAUSES GÉNÉRALES .....	28
3.1. Réglementation .....	28
3.2. Responsabilité du Maître d'Ouvrage .....	28
3.3. Inspection, auscultation et archivage .....	30
3.4. Mise à jour des règlements et procédures .....	32
4. PROJET .....	34
4.1. Hydrologie et hydraulique .....	34
4.1.1. Généralités .....	34
4.1.2. Méthodes et critères de projet .....	34
4.1.3. Crue de projet .....	34
4.2. Projet des ouvrages .....	36
4.2.1. Méthodes, critères et conduite du projet .....	36
4.2.2. Charges appliquées aux ouvrages et coefficients de sécurité ..	38
4.2.3. Reconnaissances géotechniques .....	38
4.2.4. Percolations .....	40
4.2.5. Séismicité .....	42
4.3. Auscultation .....	42
4.3.1. Généralités .....	42
4.3.2. Auscultation avant la construction .....	44
4.3.3. Auscultation pendant l'exploitation .....	44
4.3.4. Auscultation pendant la phase de restructuration .....	46
4.4. Conception et étude des retenues de stériles .....	46
4.4.1. Choix du site .....	46
4.4.2. Projet .....	46

---

## TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD .....	9
1. INTRODUCTION .....	11
2. UNIQUE ASPECTS OF TAILINGS DAMS .....	15
2.1. Description of Tailings .....	15
2.2. Types of Tailings Storage Sites .....	17
2.3. Tailings Dam Design .....	17
2.4. Tailings Dam Construction .....	19
2.5. Phases of Tailings Dams .....	23
2.6. Tailings Dam Safety .....	25
3. GENERAL PROVISIONS .....	29
3.1. Regulatory Legislation .....	29
3.2. Owner's Responsibilities .....	29
3.3. Inspection, Monitoring, and Recordsh .....	31
3.4. Updating Regulations and Procedures .....	33
4. DESIGN .....	35
4.1. Hydrology and Hydraulics .....	35
4.1.1. General .....	35
4.1.2. Design Methods and Criteria .....	35
4.1.3. Design Flood .....	35
4.2. Structural Design .....	37
4.2.1. Design Methods, Criteria, and Strategy .....	37
4.2.2. Loads and Safety Factors .....	39
4.2.3. Geotechnical Investigations .....	39
4.2.4. Seepage .....	41
4.2.5. Seismicity .....	43
4.3. Instrumentation and Monitoring .....	43
4.3.1. General .....	43
4.3.2. Preconstruction Instrumentation and Monitoring .....	45
4.3.3. Performance Instrumentation and Monitoring .....	45
4.3.4. Rehabilitation Instrumentation and Monitoring .....	47
4.4. Tailings Pond Planning and Design .....	47
4.4.1. Site Selection .....	47
4.4.2. Design .....	47



4.5. Inspection du barrage .....	50
4.6. Plans et procédures d'alerte .....	50
4.7. Plans de restructuration .....	50
4.8. Approbations du projet .....	50
<b>5. CONSTRUCTION .....</b>	<b>52</b>
5.1. Généralités .....	52
5.2. Méthodes et matériels de construction .....	52
5.3. Contrôle général et inspection des travaux de construction .....	52
5.4. Maîtrise de la rivière et dérivation .....	54
5.5. Plans d'alerte en phase de construction .....	54
5.6. Modifications ou réparations des barrages de stériles existants .....	56
<b>6. EXPLOITATION .....</b>	<b>58</b>
6.1. Exploitation de la retenue de stériles .....	58
6.2. Stabilité des barrages de stériles .....	60
6.3. Auscultation et inspection .....	60
6.4. Problèmes posés par l'exploitation .....	62
6.4.1. Généralités .....	62
6.4.2. Problèmes relatifs à l'eau .....	64
6.4.3. Problèmes sismiques .....	66
6.5. Plans d'alerte .....	68
<b>7. RESTRUCTURATION .....</b>	<b>70</b>
7.1. Mise au point des plans définitifs de restructuration .....	70
7.2. Approbation des plans de restructuration .....	70
7.3. Mise en application des plans de restructuration .....	72
<b>8. GLOSSAIRE .....</b>	<b>74</b>
<b>ANNEXE A - Sécurité des barrages et retenues de stériles vis-à-vis de l'environnement .....</b>	<b>84</b>
<b>ANNEXE B - Recommandations concernant la législation applicable aux barrages de stériles .....</b>	<b>100</b>

4.5. Dam Inspection .....	51
4.6. Emergency Plans and Procedures .....	51
4.7. Rehabilitation Plans .....	51
4.8. Design Approvals .....	51
5. CONSTRUCTION .....	53
5.1. General .....	53
5.2. Construction Methods and Equipment .....	53
5.3. Construction Supervision and Inspection .....	53
5.4. River Handling and Diversions .....	55
5.5. Construction Emergency Precautions .....	55
5.6. Alterations or Repairs to Existing Tailings Dams .....	57
6. OPERATION .....	59
6.1. Tailings Pond Operation .....	59
6.2. Structural Stability of Tailings Dam .....	61
6.3. Monitoring and Inspection .....	61
6.4. Operating Problems .....	63
6.4.1. General .....	63
6.4.2. Water Related Problems .....	65
6.4.3. Earthquake Related Problems .....	67
6.5. Emergency Planning .....	69
7. REHABILITATION .....	71
7.1. Development of Final Rehabilitation Plans .....	71
7.2. Approval of Plans .....	71
7.3. Implementation of Rehabilitation of Plans .....	73
8. GLOSSARY .....	78
APPENDIX A - Environmental safety of tailings dams and impoundments .....	85
APPENDIX B - Guidelines on tailings dam legislation .....	101

---

## AVANT-PROPOS

---

Le Comité actuel des Barrages de Stériles Miniers et Industriels a tenu sa première séance de travail lors de la 52<sup>e</sup> Réunion Exécutive de la CIGB, à Tokyo, en 1984. Sa mission principale consistait à établir des recommandations couvrant tous les aspects de la sécurité des barrages de stériles associés principalement à l'industrie minière et retenant à la fois des stériles solides et des quantités importantes d'eau. Ces recommandations sont également applicables pour évaluer et améliorer la sécurité de tous les types de barrages de stériles, petits ou grands, miniers ou industriels, avec ou sans stockage d'eau.

Ces recommandations étaient jugées essentielles, étant donné le nombre croissant de grands barrages de stériles construits dans le monde et les graves conséquences pouvant résulter de leur rupture. La nécessité de telles recommandations a été dramatiquement soulignée par la rupture en 1985, près de Stava en Italie, de deux petits barrages de stériles, ayant entraîné de nombreuses pertes de vies humaines et d'importants dégâts matériels.

Le Bulletin s'adresse principalement aux Autorités de Contrôle responsables de la sécurité des barrages de stériles, tant en ce qui concerne l'ouvrage proprement dit que l'environnement. Cependant, il est destiné également à aider l'exploitant à comprendre les mesures qui doivent être prises pour assurer la sécurité du barrage de stériles en cours d'exploitation et après restructuration. Enfin, le document sera également utile à tous les organismes et personnes impliqués dans le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles.

Le document a été préparé principalement par Earle J. Klohn (Canada), avec la collaboration de Jan Eurenus (Suède) et Flavio Miguez de Mello (Brésil) qui ont rédigé les Annexes. Le texte tient compte des principaux commentaires présentés par les autres membres du Comité. Qu'ils en soient tous vivement remerciés.

A.D.M. Penman  
Président du Comité des Barrages  
de Stériles Miniers et Industriels



---

## FOREWORD

---

The current ICOLD Committee on Mine and Industrial Tailings Dams held its first meeting at the 52nd Executive Meeting, in Tokyo in 1984. A major item for review and action, as set out in the terms of reference, was the development of a set of guidelines covering all safety aspects of tailings dams associated primarily with the mining industry, and which retain both tailings solids and substantial quantities of water. The guidelines should also be intended for use, as applicable, in the assessment and improvement of the safety of all types of tailings dams, large or small, mining or industrial, with or without storage of water.

These guidelines were considered essential in view of the increasing numbers of large tailings dams that were being constructed around the world and the severe consequences that would result from failure. The need for such guidelines was dramatically emphasized by the failure, in 1985, near Stava in Italy, of two small tailings dams which resulted in a large loss of life and extensive property damage.

The Bulletin is intended primarily for the use of the Regulatory Agencies responsible for the safety of tailings dams, both structurally and environmentally. However, it is also intended to assist the mine operator in understanding the measures that must be adopted to ensure that his tailings dam is safe, both during operation and after rehabilitation. Finally, it should also benefit those individuals or organizations involved in the design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams.

This publication has been prepared mainly by Earle J. Klohn (Canada), with assistance from Jan Eurenus (Sweden) and Flavio Miguez de Mello (Brazil) who prepared the Appendices. Valuable comments, which have been incorporated in the text, have come from other members of the Committee. They deserve our appreciation and thanks.

A.D.M. Penman  
Chairman, Committee on Mine  
and Industrial Tailings Dams

---

# 1. INTRODUCTION

---

De nombreuses solutions existent pour le stockage à terre des stériles produits par les diverses activités minières et industrielles. Ces solutions peuvent être classées en trois grandes catégories :

*a)* Les déchets ou stériles sont amenés dans la zone de stockage sous forme de boues. Dans ces conditions, le stockage doit être conçu à la fois pour les stériles solides et pour des quantités importantes d'eau à surface libre. Dans la plupart des cas, cette eau est stockée puis recyclée pour être à nouveau utilisée dans le processus de traitement.

*b)* En raison de l'existence d'un important réseau de drainage, le dépôt de stériles est réalisé de telle manière que le liquide en excès est drainé hors de ce dépôt, puis récupéré. Un tel système produit une masse de stériles qui comprend essentiellement des éléments solides et qui est stable sous chargement statique.

*c)* Les déchets ou stériles sont séchés par des procédés mécaniques, puis mis en place et compactés sous forme d'un tas stable de stériles pratiquement secs.

A la différence des barrages classiques de stockage d'eau, les barrages de stériles ne peuvent pas être mis hors service à la fin de leur exploitation, le site revenant à son état initial. Les barrages de stériles stockent en général des fluides et solides toxiques qui ne peuvent pas être évacués à la fin de la phase d'exploitation de la mine. Au contraire, ceux-ci doivent rester stockés en toute sécurité jusqu'à ce que leur toxicité ait atteint un niveau acceptable pour l'environnement. Pour certains stériles, ce niveau peut être obtenu seulement après plusieurs centaines d'années. La restructuration des barrages de stériles doit dans ces conditions être soigneusement étudiée avant l'exécution des travaux.

Une description détaillée des barrages de stériles et des méthodes recommandées pour leur projet, leur construction et leur exploitation est présentée dans le Bulletin CIGB n° 45 « Manuel des barrages et dépôts de stériles », 1982. Un bref rappel sur le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles figure dans la présente publication. Il a pour but d'indiquer au lecteur les différences entre les barrages de stériles et les barrages hydrauliques classiques, afin de faciliter la compréhension des recommandations formulées.

Ces recommandations portent uniquement sur les aspects techniques de la sécurité des barrages de stériles, en excluant toutes les questions de réglementation et de responsabilités. Elles ont été élaborées en s'assurant qu'il n'y aurait pas de contradictions avec les autres publications de la CIGB concernant la sécurité des barrages et les problèmes d'environnement. En fait, ces recommandations visent à compléter celles établies par le Comité de la Sécurité des Barrages (Bulletin CIGB, n° 59), en suivant dans toute la mesure du possible le même plan directeur. Cependant, comme cela est clairement mis en évidence dans les Chapitres suivants, le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles sont des opérations différentes et, en général, plus complexes que celles nécessitées

---

# 1. INTRODUCTION

---

There are numerous alternative designs which are used to provide on-land storage facilities for the waste products generated by the various mining and industrial operations. These alternatives can be grouped into three broad categories as follows :

*a)* Systems in which the waste products or tailings are delivered to the storage facility as a slurry and the facility is required to store both the tailings solids and substantial quantities of free water. In most instances the free water is stored and recirculated for use as process water.

*b)* Systems where comprehensive underdrainage is provided and the deposition of tailings is managed in such a manner that the excess liquid is drained from the tailings solids and recovered. Such a system produces a tailings mass which essentially comprises solids and is stable under static loading conditions.

*c)* Systems where the waste products or tailings are dewatered by some mechanical means and are then placed and compacted to form a stable pile of relatively dry stacked tailings.

Tailings dams, unlike conventional water storage dams, cannot be breached at the end of their useful service and the valley allowed to return to its original conditions. Tailings dams usually store toxic fluids and solids which cannot be discharged at the end of the operating life of the mine. Instead they must remain safely stored until their toxicity has decreased to the point where it meets environmentally acceptable levels. For some tailings, the point of acceptable toxicity may be hundreds of years into the future. The rehabilitation aspects of tailings dam operations therefore require very careful study before implementation.

A detailed description of tailings dams and the procedures recommended for their design, construction, and operation is presented in ICOLD Bulletin No. 45, " Manual on Tailings Dams and Dumps ", 1982. A brief overview of tailings dam design, construction, operation, and rehabilitation and their impact on the physical and environmental safety of the structure is given below. This overview is intended to alert the reader to the differences between a tailings dam and a conventional water storage dam and thereby aid his understanding of the guidelines that follow.

These guidelines address the technical aspects of tailings dam safety only and specifically exclude all legal and liability matters. In preparing the guidelines every effort has been made to ensure that they do not conflict with other ICOLD Committee publications dealing with dam safety and environmental concerns. In fact, these guidelines are meant to complement the guidelines issued by the Committee on Dam Safety (ICOLD Bulletin No. 59), and, as much as possible, follow the same general outline. However, as is clearly pointed out in the following sections of the guidelines, the design, construction, operation, and rehabilitation of a tailings storage dam is quite a different and generally a more complex procedure than that required for a conventional water storage dam; the methods and techni-



par les barrages hydrauliques classiques; les méthodes et techniques utilisées pour les barrages de stériles ne sont pas aussi largement connues ni aussi bien comprises que celles adoptées pour les barrages classiques. Aussi, la présente publication contient-elle beaucoup plus de détails que le Bulletin CIGB n° 59 « Recommandations sur la sécurité des barrages ».

Les recommandations présentées dans la publication ne doivent pas être considérées comme des règlements ou des normes pour le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles. Elles ont pour but d'attirer l'attention sur les nombreux facteurs influençant la sécurité des barrages de stériles. Leur objectif est d'aborder les aspects techniques concernant la sécurité, qui sont communs à tous les barrages de stériles dans le monde. En conséquence, les recommandations visent à mettre au point une approche commune des problèmes de sécurité dans le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles, et à assister tous les pays membres de la CIGB dans l'élaboration de règlements sur la sécurité des barrages de stériles. A cet égard, elles peuvent être utilisées comme modèle et seront, le cas échéant, adaptées aux conditions spécifiques de chaque état ou région.

Le texte principal du Bulletin couvre les problèmes de stabilité des barrages de stériles, se posant au cours des diverses phases de reconnaissances, de projet, de construction, d'exploitation et de restructuration.

L'Annexe A « Sécurité des barrages et retenues de stériles vis-à-vis de l'environnement » a pour but de fournir un cadre général pour l'examen des problèmes d'environnement associés au stockage des stériles, une attention particulière étant portée aux problèmes résultant du stockage à long terme.

L'Annexe B « Recommandations concernant la législation applicable aux barrages de stériles » présente des recommandations pour l'élaboration et l'application d'une législation destinée à réglementer le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de ce type.

ques used for tailings dams are not as widely known nor as well understood as those for conventional dams. Therefore, this publication contains considerably more detail than the ICOLD Bulletin No 59 “ Dam Safety Guidelines ”.

The guidelines are presented as recommendations and are not intended as rules or standards for the design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams. However, they are intended to draw attention to the many factors that influence tailings dam safety. In this regard, their objective is to address those technical aspects of tailings dam safety that are common to all tailings dams, worldwide. Consequently, the guidelines are meant to promote a common approach to the safe design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams and to assist in the development of tailings dam safety regulations, for all ICOLD member countries. In this regard they may be used as a model to be shaped and restructured as necessary to meet the specific requirements of each individual state or country.

The main text of the Bulletin covers the structural stability of tailings dams from investigation through design, construction, operation, and rehabilitation.

Appendix “ A ”, entitled “ Environmental Safety of Tailings Dams and Impoundments ”, is intended to provide general guidance concerning those environmental concerns associated with the storage of tailings, with particular attention to the problems associated with long-term storage.

Appendix B, entitled “ Guidelines on Tailings Dam Legislation ” provides suggested guidelines for drafting and enacting legislation to regulate the design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams.

---

## 2. ASPECTS SPÉCIFIQUES DES BARRAGES DE STÉRILES

---

### 2.1. DESCRIPTION DES STÉRILES

Le dictionnaire international Oxford définit les stériles comme des produits de qualité inférieure, les restes ou résidus de toute production. Aussi, les stériles peuvent-ils être définis comme les résidus d'un grand nombre d'activités incluant les mines, l'industrie, la chimie, etc. Comme on peut le prévoir, il existe des différences importantes dans la nature des stériles produits par les différentes industries.

Les quantités énormes de résidus produits par l'industrie minière et se présentant sous forme d'eau et de roche finement désagrégée peuvent généralement être utilisés, au moins en partie, pour construire le barrage nécessaire à leur rétention. Au contraire, les stériles ou résidus produits par la majorité des traitements chimiques et industriels et par certains procédés d'enrichissement, sont des produits fins, souvent fluides ou semi-fluides et contenant, dans de nombreux cas, des matériaux fortement toxiques. De tels stériles ne sont pas utilisables pour la construction du barrage. Leur stockage ne peut se faire qu'en construisant des digues ou des barrages conçus suivant les règles classiques de l'ingénierie et satisfaisant aux exigences concernant la sécurité des barrages, telles que définies dans le Bulletin n° 59 de la CIGB « Recommandations sur la sécurité des barrages ».

Les stériles miniers sont constitués par la roche broyée qui reste après que les minéraux de valeur aient été extraits. Leur granulométrie dépend des caractéristiques du minerai et du processus d'extraction utilisé pour concentrer et extraire les produits de valeur. Les divers types d'activité minière produisent des stériles de granulométrie extrêmement variée, allant de la classe des sables fins à celle des argiles.

Les stériles sont généralement transportés jusqu'à la zone de dépôt sous forme d'une boue dont la concentration varie entre 30 % à 55 %, rapport du poids de solide au poids de liquide (ou 23 % à 35 %, rapport du poids de solide au poids total de boue; les concentrations sont aussi parfois exprimées en poids de solide par volume unitaire de boue). Les risques potentiels de pollution associés au stockage des boues de stériles varient suivant la nature des activités minières; ils vont de risques très élevés pour les résidus radio-actifs provenant des mines d'uranium jusqu'à des risques nuls pour les procédés miniers se limitant à broyer un minerai inerte sans addition de produit chimique toxique pendant le traitement. Entre ces deux extrêmes, il existe un large domaine de conditions où il existe des risques potentiels de pollution soit à court terme, soit à long terme.



---

## 2. UNIQUE ASPECTS OF TAILINGS DAMS

---

### 2.1. DESCRIPTION OF TAILINGS

The Oxford International Dictionary defines tailings as the inferior qualities, leavings, or residue of any product. Tailings therefore may be defined as the waste product from any number of industries including mining, industrial, chemical, etc. As would be expected, wide variations exist in the type of tailings that are produced by different industries.

The huge volumes of tailings, comprising finely ground rock and water, produced by the mining industry usually can be utilized, at least in part, to construct the tailings dams required for their retention. On the other hand, the tailings or residue produced by most industrial and chemical operations and by some mineral beneficiation processes are fine-grained, often fluid or semi-fluid, and in many instances contain highly toxic materials. Such tailings are not suitable for use in the construction of tailings dams. The retention of these tailings should be achieved by the construction of dykes or dams, designed to conventional engineering standards and satisfying the requirements for dam safety as set out in ICOLD Bulletin No. 59 " Dam Safety Guidelines ".

Mine tailings consist of the ground-up rock that remains after the mineral values have been removed from the ore. The grain size distribution of tailings depends upon the characteristics of the ore and the mill processes used to concentrate and extract the metal values. A wide range of tailings gradation curves exists for the various mining operations and consequently tailings may range from essentially fine sands to clay-sized material.

Tailings normally are transported to the disposal area as a slurry at concentrations varying from 30 % to 55 % by weight of solids to liquids (or 23 % to 35 % if expressed by weight of solids to total weight of slurry. Concentrations are also sometimes expressed as weight of solids per unit volume of slurry). The potential pollution hazards associated with storage of the tailings slurry vary with different mining operations, and range from very severe for the radioactive wastes associated with uranium mining, to none for mining processes that merely grind up an inert ore without the addition of toxic chemicals during processing. In between these two extremes are a wide range of conditions that present either short or long-term potential pollution problems.

## **2.2. SITES DE STOCKAGE DE STÉRILES**

Les sites susceptibles d'être utilisés pour le stockage des stériles peuvent être classés en 5 grandes catégories :

1. Retenue avec remblai en travers de val.
2. Retenue avec remblai annulaire.
3. Remblai à flanc de coteau.
4. Retenue « incisée ».
5. Combinaison de plusieurs des types ci-dessus.

Une description détaillée de chaque type de stockage est donnée dans le Bulletin n° 45 de la CIGB. La plupart des barrages importants de stériles sont du type « remblai en travers de val ». Leur principal avantage est de pouvoir stocker de larges volumes de stériles en ne construisant qu'un seul grand barrage à travers la vallée. Leur principal inconvénient est que des ouvrages doivent être construits pour dériver, stocker et/ou évacuer toute l'eau du bassin versant à l'amont du barrage. Si ce bassin versant est important, la maîtrise des eaux peut devenir un problème majeur.

Ces recommandations sont, dans leur totalité, spécifiquement applicables aux grands barrages de stériles du type « remblai en travers de val ». Cependant, elles ont été conçues de telle façon que certains paragraphes sont également applicables à tous les autres types de barrages de stériles.

## **2.3. PROJET DES BARRAGES DE STÉRILES**

La plupart des grands barrages de stériles sont construits en deux étapes. L'étape 1, c'est-à-dire le remblai d'amorce, est réalisée avant que les opérations minières commencent. Il fournit le point de départ pour la construction du barrage définitif. Le type du remblai d'amorce dépend généralement de la méthode de construction à utiliser pour le reste du barrage de stériles. Par exemple, lorsque la construction est envisagée avec la méthode aval, le remblai d'amorce peut être construit comme un barrage classique de stockage d'eau et utilisé comme tel au départ pour stocker l'eau de fabrication. Au contraire, lorsque l'on envisage d'utiliser la méthode amont de construction, le remblai d'amorce peut être construit sous forme d'un massif drainant permettant de contrôler la ligne phréatique dans la phase finale du barrage de stériles. Dans les cas où le remblai d'amorce est construit comme un barrage conventionnel de stockage d'eau, il doit satisfaire aux exigences relatives à la sécurité, telles que définies dans le Bulletin n° 59 de la CIGB.

L'étape n° 2 consiste dans la construction du reste du barrage de stériles. Cette phase de construction, réalisée par les exploitants de la mine, constitue la partie principale de la construction du barrage de stériles. L'étape 2 de la construction est une opération continue qui commence avec le démarrage de l'exploitation minière et se poursuit jusqu'à ce que cette exploitation s'arrête ou que la retenue soit pleine. Ces recommandations s'appliquent principalement à l'étape 2 de la construction.

Le projet des barrages de stériles diffère de celui des barrages classiques par 5 aspects importants :

## **2.2. TYPES OF TAILINGS STORAGE SITES**

The types of sites that may be developed for the storage of tailings can be classified into five broad categories, as follows :

1. Cross Valley Impoundments.
2. Dyked Impoundments.
3. Hillside Impoundments.
4. Incised Impoundments.
5. Combinations of one or more of the above.

A detailed description of each type of storage site is given in ICOLD Bulletin No. 45. Most major tailings dams are of the “ Cross Valley ” type. Their major advantage is that they can store large volumes of tailings by the construction of a single, high dam across the valley. Their major disadvantage is that facilities must be constructed to divert, store, and/or discharge all of the water contributed by the watershed, upstream of the dam. If the valley has a large watershed, handling the runoff can become a very big problem.

These guidelines, in their entirety, are specifically applicable to major tailings dams of the « Cross-Valley » type. However, they have been written in such a manner that appropriate sections are equally applicable to all types of tailings dams.

## **2.3. TAILINGS DAM DESIGN**

Most large tailings dams are built in two stages. Stage I, the initial starter dam, is constructed before the mining operation starts and provides the starting point for construction of the ultimate tailings dam. The type of starter dam selected usually depends on the method of construction to be used for the remainder of the tailings dam. For example, where downstream methods of construction are proposed, the starter dam may be constructed as a conventional water storage dam and be used to store mill start-up water. On the other hand, where upstream methods of construction are proposed, the starter dam may be constructed as a pervious drain to control the phreatic surface in the ultimate tailings dam. In those cases where the starter dam is constructed as a conventional water storage dam, it should meet the pertinent requirements for dam safety as set out in ICOLD Bulletin no. 59.

Stage II involves the construction of the remainder of the tailings dam. This phase of construction, which is carried out by the mining operators, constitutes the major portion of tailings dam construction. Stage II construction is a continuous operation which begins with the start-up of mining operations and continues until mining operations cease, or the tailings pond is filled. These guidelines are intended to apply mainly to the on-going, Stage II construction.

Tailings dam design differs from conventional dam design in the following five important aspects :

1) A la différence des barrages classiques de stockage d'eau, les barrages de stériles ne peuvent pas être détruits à la fin de leur période d'utilisation, le site étant rendu à son état initial. Les barrages de stériles stockent généralement des fluides et des solides toxiques qui ne peuvent pas être évacués après la phase d'exploitation. Au contraire, ils doivent rester stockés jusqu'à ce que leur toxicité ait atteint un niveau acceptable pour l'environnement, parfois après plusieurs centaines d'années pour certains stériles. Les problèmes posés par la restructuration des barrages de stériles nécessitent en conséquence une étude très complète avant la mise en œuvre des dispositions prévues.

2) La masse des matériaux stockés derrière le barrage se présente sous forme d'un matériau de faible consistance, peu compact, relativement imperméable. La consistance de ces stériles peut varier de l'état solide à l'état semi-fluide en fonction de leur finesse, de leur âge et de la position de la nappe phréatique. Cependant, en cas de secousses sismiques importantes, tous les stériles saturés sont probablement liquéfiables, se transformant en un fluide de poids spécifique élevé et entraînant une charge supplémentaire sur le barrage. Les stériles contiennent aussi des constituants de toxicité variée.

3) Une partie importante du barrage est généralement construite en utilisant la fraction la plus grossière des stériles. Ce matériau, dans un état saturé et lâche, est également liquéfiable sous secousse sismique.

4) La majeure partie de la construction du barrage est réalisée par les exploitants de la mine en tant que partie des opérations de mise en dépôt, le barrage étant monté de telle sorte qu'il soit toujours en avance sur le stockage de stériles. Les barrages de stériles étant généralement construits lentement sur une période de plusieurs années, le projeteur est à même de définir un projet dont il pourra apprécier le comportement, ce qui lui permettra d'effectuer, si nécessaire, des modifications tout au long de la période de construction. Ceci est un aspect très important du projet des barrages de stériles, car il permet une flexibilité beaucoup plus grande que celle possible pour le projet des barrages classiques de stockage d'eau. Cependant, la construction par les exploitants de la mine présente également le risque d'une moindre attention vis-à-vis du contrôle de la qualité que dans le cas de la construction des barrages classiques.

5) Les barrages de stériles sont normalement soumis à de faibles vidanges (correspondant à l'eau à surface libre surmontant les stériles), car le niveau des stériles monte continuellement au fur et à mesure de la montée du barrage. Dans les barrages de stériles, une fraction non négligeable de leur résistance peut être mobilisée par les stériles situés dans la retenue et ceci est utilisé dans leur conception.

## **2.4. CONSTRUCTION DES BARRAGES DE STÉRILES**

Dans le passé, pratiquement tous les barrages de stériles ont été construits suivant la méthode amont d'exécution (ou un dérivé de cette méthode). La méthode amont originelle implique normalement la construction d'un remblai d'amorce en terre, de faible hauteur (3 m à 6 m). Cette digue, généralement construite à partir de matériaux d'emprunt localement disponibles, était rarement conçue par des ingénieurs. Les résidus étaient déversés par « spigotage » à partir de la crête du remblai d'amorce. Quand la retenue initiale était pratiquement pleine, la digue était surélevée au moyen de matériaux pris sur la surface desséchée des stériles précé-

1) Tailings dams, unlike conventional water storage dams, cannot be breached at the end of their useful service and the valley allowed to return to its original conditions. Tailings dams usually store toxic fluids and solids which cannot be discharged at the end of the operating life of the mine. Instead they must remain safely stored until their toxicity has decreased to the point where it meets environmentally acceptable levels. For some tailings, the point of acceptable toxicity may be hundreds of years into the future. The rehabilitation aspects of tailings dam operations therefore require very careful study before implementation.

2) The bulk of material stored behind the dam is soft, loose, relatively impervious tailings rather than water. The consistency of these tailings may range between the solid state and the semi-fluid state, depending on their fineness, their age, and the location of the water table. However, under severe seismic shock all saturated tailings are likely to liquefy, becoming a fluid of high unit weight and thereby placing additional loading on the dam. Contaminants of varying toxicity are also contained in the tailings.

3) A large part of the dam is usually constructed using the coarser fraction of the tailings. This material, if in a loose and saturated state, is also liquefiable under seismic shock.

4) Most of the dam construction is carried out by the mining operators, as part of the tailings disposal operation, with the dam being raised as required to stay ahead of the rising tailings pond. Because tailings dams usually are constructed slowly over a period of many years, the designer is able to select a design and then check its performance, making modifications as required throughout the long construction period. This is a critically important aspect of tailings dam design as it allows far more flexibility than is available for design of conventional water retention dams. However, construction by mining operators also presents the risk of less attention to quality control than would be the case for conventional dam construction.

5) Tailings dams, normally, are subjected to only a nominal amount of draw-down of the overlying free water as the tailings deposits are continually rising as the dam is raised. Hence, conventional tailings dams develop a significant amount of upstream support from the tailings in the pond and this feature is utilized in their design.

## **2.4. TAILINGS DAM CONSTRUCTION**

In the past, practically all tailings dams were constructed by some variation of the upstream method of construction. The original upstream method normally involved construction of a low earth “ starter ” dyke, 3 to 6 metres in height. This dyke was usually constructed from locally available borrow materials and was seldom subject to engineering design. The tailings were discharged by spigotting off the top of the starter dyke. When the initial pond was nearly filled, the dyke was raised by borrowing material from the dried surface of the previously deposited tailings, and the cycle was repeated. As the height of such a dam increases, each

demment déposés et le cycle était ainsi répété. Au fur et à mesure de la montée d'un tel barrage, chaque digue successive se déplace de plus en plus vers l'amont surmontant ainsi les stériles précédemment déposés, de consistance molle.

La méthode amont de construction a été utilisée avec succès sous les climats secs et arides où les pertes par évaporation sont élevées et où une quantité minimale d'eau est stockée dans la retenue. Dans ces conditions, la ligne phréatique à travers les stériles est basse et une certaine cimentation chimique des stériles hors d'eau peut se produire; dans la mesure où des pentes suffisamment faibles sont utilisées, des barrages de stériles de grande hauteur peuvent ainsi être construits avec succès pour supporter des conditions de chargement statique. Les méthodes amont de construction ont été également utilisées avec succès lorsqu'un « spigotage » soigné combiné avec un drainage efficace ont été réalisés. Un risque majeur associé avec la méthode amont de construction est la possibilité d'une élévation de la nappe (quelle qu'en soit la raison), entraînant ainsi le risque de liquéfaction, sous chargement dynamique dû au séisme, des stériles saturés et de faible compacité.

Des méthodes « semi-aériennes » de mise en dépôt des stériles (cf. définition chapitre 8) sont parfois utilisées avec la méthode de construction amont. La mise en place des stériles par méthode « semi-aérienne » consiste à déposer les stériles en minces couches sur un talus de très faible pente, afin d'obtenir par sédimentation, drainage et séchage à l'air, un dépôt plus dense, moins perméable et de plus grande résistance. Un drainage à la base est en général mis en œuvre pour faciliter le drainage des stériles sus-jacents. La mise en dépôt semi-aérienne combinée avec la méthode amont est une technologie plus appropriée pour les régions arides et chaudes que pour les climats humides ou froids.

La méthode aval de construction des barrages de stériles s'est développée à partir d'une fusion entre les connaissances et l'expérience dans le domaine des barrages de stockage d'eau et celles des exploitants miniers responsables de la construction et de l'exploitation des barrages de stériles. La méthode aval de construction des barrages de stériles implique la construction d'un barrage dans la direction aval à partir d'un remblai d'amorce. En conséquence, au fur et à mesure que le barrage est monté, il peut être construit sur une fondation soigneusement préparée au lieu d'être mis en place sur les stériles précédemment déposés, comme dans la méthode amont. On peut utiliser le compactage pour accroître la résistance au cisaillement du barrage et mettre en place des drainages internes pour contrôler la ligne phréatique, ceci dans toute la mesure nécessaire à l'obtention d'un ouvrage présentant toute garantie de sécurité vis-à-vis des charges statique et dynamique. Dans les zones à haut risque sismique où la rupture des barrages de stériles constitue une menace pour les vies et les biens, les règles de l'art consistent à utiliser la méthode aval pour la construction des barrages de stériles.

Dans la plupart des constructions par la méthode aval, on traite les résidus par cyclonage (hydro-cyclone), ce qui permet de séparer la fraction sableuse des boues. Les sables sont alors utilisés dans la construction du barrage et les boues sont déposées dans la retenue. Dans les zones de forte sismicité et lorsque les stériles sont trop fins pour produire une quantité suffisante de sable de qualité acceptable pour la construction du barrage, des matériaux d'emprunt doivent être utilisés pour la construction du barrage de stériles.



successive dyke moves further upstream, and is underlain by the soft, previously deposited tailings.

Upstream methods of construction have been used successfully in dry, arid climates, where evaporation losses are high and a minimum of water is stored in the pond. Under these conditions the phreatic line through the tailings dam is low, some chemical cementing of the dried-out tailings may occur, and provided sufficiently flat outer slopes are used, significantly high tailings dams can be successfully constructed under static loading conditions. Upstream construction methods have also been used successfully where careful spigotting combined with good underdrainage have been utilized. A major risk associated with upstream methods of construction is the possibility of the phreatic line rising, for whatever reason, and the loose, saturated tailings liquefying under dynamic earthquake loading.

Sub-aerial methods of tailings deposition (see Chapter 8) are sometimes used with the upstream method of dam construction. Sub-aerial tailings disposal is a method of depositing tailings in thin layers on a gently sloping beach, in order to achieve a denser, less permeable, higher strength deposit through settling, draining, and air-drying. Underdrainage is usually provided to help drain the deposited tailings. Sub-aerial deposition, combined with upstream construction, is a more appropriate technology for warm, arid regions than for wet or cold climatic conditions.

The downstream method of tailings dam construction evolved from a blending of the engineering knowledge and experience available in the field of water storage dams, with the knowledge of the mining operators responsible for construction and operation of tailings dams. The downstream method of tailings dam construction involves constructing a dam in a downstream direction from the initial starter dam. Consequently, as the dam is raised, it can be constructed over a carefully prepared foundation base rather than over previously deposited tailings, as is the case for the upstream method. Compaction to improve the shear strength properties of the embankment and installation of internal drains to control the phreatic line can be included in the design to whatever degree is required to produce a safe structure under both static and dynamic loading. In areas of high seismic risk, where failure of the tailings dam poses a threat to life and property, current good engineering practice is to use downstream methods of tailings dam construction.

Most downstream methods of construction process the tailings with cyclones (hydrocyclones) to separate the sand sizes from the slimes. The sands are then used in dam construction and the slimes are deposited in the tailings pond. In areas of high seismicity, and where the tailings are too fine to produce sufficient quantities of sand suitable for dam construction, suitable borrow materials should be used to construct the tailings dam.

## 2.5. ÉTAPES DE LA VIE DES BARRAGES DE STÉRILES

On peut considérer que la vie des barrages de stériles est constituée de 3 périodes distinctes :

- la phase d'exploitation;
- la phase de restructuration;
- la phase à long terme.

Pendant la phase d'exploitation du barrage de stériles, les exploitants de la mine et/ou les projeteurs du barrage suivent et contrôlent le stockage pour s'assurer qu'il satisfait aux exigences requises par les autorités de contrôle. En conséquence, les exigences de sécurité relatives au barrage et à l'environnement sont généralement satisfaites durant cette phase.

Lorsque l'exploitation minière est arrêtée, les retenues de stériles entrent en phase de restructuration. Celle-ci implique souvent le drainage de la retenue, la dérivation des eaux de surface, l'étanchement de la surface des stériles, la mise en place d'une couverture végétale, et l'installation d'ouvrages permanents d'évacuation pour la maîtrise des eaux de surface. Les procédures spécifiques de restructuration suivent un plan préalablement soumis à l'approbation des autorités de contrôle. Pendant un certain temps durant la phase de restructuration, les caractéristiques de l'eau associée avec la retenue de stériles et celles des stériles eux-mêmes changent. Finalement, une condition d'équilibre sera atteinte entre les eaux de surface entrant dans la retenue et le débit des contaminants sortant de la retenue. La fin de la phase de restructuration est normalement considérée comme atteinte lorsque la toxicité de tous les contaminants évacués est proche de son taux naturel antérieur ou lorsqu'elle atteint des niveaux acceptables pour l'environnement. Il faut penser que des tassements importants des stériles déposés dans la retenue se produiront pendant la phase de restructuration. Ces tassements peuvent continuer à se produire pendant un certain temps après la fin de cette phase.

On considère que la phase à long terme commence à la fin de la phase de restructuration. La durée de cette phase à long terme dépend de la durée des réactions chimiques se produisant à l'intérieur de la masse des stériles qui constituent le barrage et sa retenue. On sait que ces réactions durent fort longtemps, dans certains cas plusieurs centaines d'années. On devra garder ce point présent à l'esprit lorsque l'on préparera le dépôt de stériles pour la phase à long terme et les procédures finales de restructuration devront être conçues en conséquence. Ceci signifie qu'il faudra incorporer dans le projet les éléments permettant de se protéger, par exemple, des effets :

- des séismes;
- des crues;
- de l'érosion due à l'eau;
- de l'érosion due au vent;
- des fuites superficielle et souterraine de contaminants;
- de l'altération des matériaux de construction;
- du colmatage des filtres et drains par des éléments fins et/ou des précipités;
- du tassement des stériles fins au fur et à mesure de leur consolidation.

## 2.5. PHASES OF TAILINGS DAMS

Tailings dams can be considered to pass through three distinct phases as follows :

- operating phase;
- rehabilitation phase;
- long-term phase.

During the operating life of the tailings dam, the mine operators and/or their designers monitor and control the tailings facility to ensure that it meets the requirements of the involved Regulatory Agencies. Consequently, dam and environmental safety requirements are usually satisfied during this stage.

When mining operations cease the tailings pond passes through a rehabilitation phase. This phase often involves draining the pond and diverting surface water, sealing the surface of the tailings pond, providing vegetative cover, and providing whatever permanent spillway facilities that might be required to handle surface runoff. The specific rehabilitation procedures follow a plan that has been previously submitted for approval to the Regulatory Agencies. Over a period of time, during the rehabilitation phase, the characteristics of both the water associated with the tailings pond and the tailings themselves change. Eventually, an equilibrium condition will be reached between the surface flows that enter the pond area and the seepage or discharge of contaminants from the pond. The end of this rehabilitation stage is normally considered to be reached when the toxicity of any contaminants released approaches the natural background level or otherwise environmentally acceptable levels. Large settlements of the tailings pond area should be anticipated during the rehabilitation phase. These settlements may continue to occur for some time after the completion of the rehabilitation phase.

The long-term phase is considered to start at the end of the rehabilitation stage. The duration of the long-term phase depends on the duration of the chemical reactions that occur within the mass of materials comprising the tailings pond and dam. These reactions are known to last for long periods, in some cases several hundred years. In preparing the tailings facility for the long-term stage this fact should be kept in mind and the final rehabilitation procedures should be designed accordingly. This usually means incorporating design features to protect against such items as :

- earthquakes;
- floods;
- water erosion;
- wind erosion;
- surface and subsurface seepage of contaminants;
- weathering of construction materials;
- plugging of filters and drains with fines and/or precipitates;
- settlements as fine tailings consolidate.

## 2.6. SÉCURITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES

Les problèmes liés à la sécurité des stockages de stériles deviennent plus importants au fur et à mesure que les cadences de production augmentent et que les opérations minières sont situées à proximité de zones construites. Actuellement, sont en cours de construction des barrages de stériles dont la hauteur finale atteindra 200 m. Bien évidemment, de tels barrages de stériles sont des ouvrages hydrauliques d'importance critique, dont la sécurité doit être assurée à la fois pendant l'exploitation minière et après arrêt de ces opérations.

Deux aspects fondamentaux sont à considérer lorsque l'on aborde le problème de la sécurité des barrages de stériles. Le premier est celui de la stabilité du barrage vis-à-vis de sa rupture suivant des mécanismes tels que : glissement, effondrement, déversement par-dessus le barrage, érosion régressive, etc. Si un grand barrage de stériles se rompt, un volume très important d'eau et/ou de stériles semi-fluides peut se répandre à l'aval. Un tel événement entraînera non seulement une importante pollution, mais constituera également une menace sérieuse pour les vies et les biens. Le second aspect concerne la sécurité de rétention de tous les matériaux toxiques stockés dans la retenue de stériles. Il est tout à fait évident que la stabilité du barrage peut être parfaitement satisfaisante, mais que des matériaux toxiques peuvent s'échapper de la retenue, à travers ou autour du barrage, et polluer les rivières ou la nappe. Ce type de problème peut se poser aussi bien pendant la phase d'exploitation de la mine qu'après arrêt des activités minières.

L'évaluation de la sécurité des barrages de stériles peut, dans ces conditions, être commodément séparée en deux points :

- 1) la stabilité mécanique du barrage, qui couvre la sécurité proprement dite du barrage et des ouvrages associés;
- 2) la sécurité vis-à-vis de l'environnement, qui couvre tous les aspects du stockage de matériaux toxiques et radioactifs sans entraîner de dommages inacceptables pour l'environnement.

Le premier point « stabilité mécanique » est celui qui vient le plus facilement à l'esprit des ingénieurs lorsque le problème de la sécurité des barrages de stériles est évoqué. Le second point est cependant de plus en plus important, car les sociétés sont de plus en plus concernées par les problèmes de dommages à l'environnement. Dans de nombreux cas, le second point « sécurité vis-à-vis de l'environnement » a un impact important sur le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration d'un barrage de stériles.

L'étude de la sécurité d'un barrage de stériles, sous l'aspect mécanique, est un exercice relativement facile si toutes les données de base nécessaires sont disponibles. Pour les nouveaux projets, ceci est généralement le cas car les données déduites de l'auscultation mise en œuvre fournissent le moyen de contrôler si le comportement du barrage est tel que prévu. Pour les barrages existants, la tâche peut être beaucoup plus difficile s'il manque les archives concernant les données de base du projet, les méthodes de construction ou les données sur la surveillance du comportement. Ces dernières sont d'une importance particulière car elles fournissent des informations sur les pressions interstitielles, les tassements, les percolations, la qualité de l'eau et les mouvements latéraux. Lorsque de tels éléments manquent, il faut réaliser des reconnaissances *in situ* très importantes pour obtenir toutes ces données et pouvoir ainsi réaliser les études nécessaires. Cependant, même des

## **2.6. TAILINGS DAM SAFETY**

The problems associated with the safe storage of tailings have become greater as rates of production have increased and mining operations have become surrounded by inhabited areas. Currently under construction, are tailings dams that will have ultimate heights of 200 metres. Obviously, tailings dams such as these are critically important hydraulic structures, whose safety must be assured both during mining operations and after mining operations have ceased.

There are two basic items to be considered when addressing the problem of " safety " for tailings dams. The first item is the structural stability of the embankment against failure by such mechanisms as : sliding, slumping, overtopping, piping, etc. Should a major tailings dam fail a very large volume of water and/or semi-fluid tailings could be discharged downstream. Such an event would not only cause extensive downstream pollution but would also pose a serious threat to life and property. The second item relates to the safe containment of any toxic materials that might be stored in the tailings pond. Obviously, the structural stability of the embankment could be perfectly satisfactory, but toxic materials could escape from the tailings pond through or around the tailings dam and into the streams and groundwater of the area. This type of problem could occur both during the operating life of the mine and/or after mining operations have ceased.

Evaluation of the safety of tailings dams therefore may conveniently be divided into two separate items as follows :

- 1) Structural Stability of Dam : covers the physical safety of the embankment and related structures.
- 2) Environmental Safety : covers all aspects of storing toxic and radioactive materials without creating unacceptable levels of environmental damage.

The first item « Structural Stability » is the item that comes to most engineers' minds when tailings dam safety is raised. The second item, however, is becoming increasingly important as society becomes more and more aware of the problems associated with environmental damage. In many cases the second item " Environmental Safety " has an important bearing on the design, construction, operation, and rehabilitation phases of a tailings dam.

Reviewing the physical safety of a tailings dam is a relatively straightforward exercise provided that all of the required basic data is available. For new designs this is usually the case with the data obtained from the installed instrumentation providing the required check on whether or not the dam is performing as designed. For existing tailings dams the task may be much more difficult if records are missing concerning the original basis of design, construction methods, or performance monitoring data. Of particular importance is the performance monitoring data as it provides information on actual pore pressures, settlements, seepages, water quality, and lateral movements. Where such records are missing, extensive field investigations must be carried out to obtain all of these data so that the required

reconnaitances poussées sur le terrain ne peuvent pas, la plupart du temps, remplacer les données inestimables qui auraient été obtenues à partir d'une auscultation rigoureuse réalisée depuis le début de la construction.

La sécurité des barrages de stériles vis-à-vis de l'environnement pose un problème beaucoup plus complexe. Le barrage de stériles peut être mécaniquement stable, mais la retenue peut perdre des polluants par écoulement à travers le fond et les versants de la retenue, à travers les appuis et la fondation du barrage et à travers le barrage lui-même. En outre, des pertes par percolation qui, initialement, ne sont pas considérées comme polluantes pour les eaux de surface et la nappe peuvent devenir polluantes avec le temps. Ceci peut se produire s'il existe dans les stériles ou dans le sable cyclonné utilisé pour la construction du barrage des matériaux augmentant l'acidité (la pyrite par exemple). L'accroissement d'acidité change le pH de l'effluent, entraînant la mise en solution des métaux lourds avec possibilité d'entraînement à l'aval par l'eau de percolation. De même, lorsqu'il existe de la pyrite dans le sable de stériles utilisé pour la construction du barrage, l'eau de pluie percolant à travers le sable peut produire un effluent acide susceptible de polluer la rivière à l'aval. Il est évident que la sécurité vis-à-vis de l'environnement constitue un problème particulier, spécifique au site, car il dépend, non seulement de l'imperméabilité de la retenue et du barrage, mais aussi des propriétés physiques des stériles et produits utilisés dans le processus de fabrication. En conséquence, pour estimer la sécurité d'un stockage particulier vis-à-vis de l'environnement, il est nécessaire de connaître les réactions physicochimiques et chimiques aussi bien que les débits de percolation et les mouvements de la nappe phréatique.



check analyses can be made. However, even extensive field investigations often cannot provide the invaluable data that would be obtained from good monitoring records extending back to the beginning of construction.

The environmental safety of a tailings dam poses a more complex problem. The tailings dam may be safe physically, but the impoundment may be losing pollutants by seepage through the base and sides of the pond, through the dam abutments, through the dam foundations, or through the embankment itself. Moreover, seepage losses which are not considered to pollute the surface and groundwater initially, may become pollutants with the passage of time. This can occur if acid-producing materials such as pyrite occur within the tailings or the cycloned sand used to build the tailings dam. Acid production can change the *pH* of the tailings effluent causing heavy metals to go into solution and to be carried downstream by seepage flows. Similarly, where pyrite occurs in the tailings sand used to build the dam, rainwater seeping through the sand can produce an acid effluent which can pollute downstream stream flows. Obviously, the entire area of environmental safety poses a special problem that is site specific as it depends not only on the imperviousness of the pond and dam but also on the physical properties of the tailings and the re-agents used in the milling process. Consequently, assessing the environmental safety of a given tailings facility requires knowledge of physiochemical and chemical reactions as well as seepage flows and groundwater movements.

---

## 3. CLAUSES GÉNÉRALES

---

### 3.1. RÉGLEMENTATION

Les recommandations suggérées pour la mise au point et l'application d'une législation concernant le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles sont indiquées dans l'annexe B « Recommandations concernant la législation applicable aux barrages de stériles ». En résumé, ces recommandations concernant la législation portent sur les points suivants :

De préférence, un seul organisme de contrôle sera chargé, par la loi, de la responsabilité unique de la coordination et de l'application des règlements concernant la sécurité des barrages de stériles, avec un droit de regard sur le projet, la construction, l'exploitation, la restructuration et le comportement à long terme des installations de stockage de stériles. Si cela n'est pas possible ou est mal adapté, les responsabilités, pouvoirs et domaines d'action de chacun des organismes de contrôle seront clairement définis et déterminés de façon à éviter les contradictions et les recouvrements. Tout organisme de contrôle a qualité pour déléguer, sous sa propre responsabilité, tout ou partie de ses fonctions exécutives et/ou opérationnelles à d'autres organismes ou services de l'administration centrale, régionale ou locale qui, dans ce cas, agira comme son représentant.

Les ordonnances et instructions de l'organisme de contrôle constituent des obligations pour les Maîtres d'ouvrages des barrages de stériles, tout comme pour les autres services gouvernementaux quel que soit le niveau de responsabilité.

Tous les fonctionnaires de l'organisme de contrôle, habilités à prendre des décisions ayant force de loi, seront des professionnels publiquement agréés (lorsqu'un tel agrément est requis par la loi) et ayant les connaissances professionnelles requises par chaque poste.

### 3.2. RESPONSABILITÉS DU MAITRE D'OUVRAGE

Le Maître d'ouvrage est responsable de l'application de tous les règlements concernant la sécurité des barrages de stériles et de leurs ouvrages annexes, tant du point de vue du comportement des ouvrages que de l'environnement.

Le Maître d'ouvrage fournit à l'organisme de contrôle tous les rapports et données nécessaires correspondant à chaque étape de la vie du barrage de stériles, en commençant par les reconnaissances du site et le rapport de projet établi pour obtenir le permis de construire du barrage et en continuant avec les rapports de construction et d'exploitation puis avec les rapports de fermeture et de restructuration.

Le Maître d'ouvrage est contraint d'indiquer immédiatement à l'organisme de contrôle tous événements inhabituels, tels que : augmentation des débits de percolation, instabilité, perte de revanche, etc., qui affectent ou peuvent affecter la stabilité du barrage.

---

## 3. GENERAL PROVISIONS

---

### 3.1. REGULATORY LEGISLATION

Suggested guidelines for drafting and enacting legislation to regulate the design, construction, operation and rehabilitation of tailings dams are outlined in Appendix “ B ”, “ Guidelines on Tailings Dam Legislation ”. Briefly, these “ Legislation Guidelines ” recommend that :

Preferably, only one Regulatory Agency should be entrusted by law, as the sole responsible unit, with the coordination and implementation of tailings dam safety regulations and with the overview of the design, construction, operation, rehabilitation, and long-term performance of the tailings storage facilities. If this should not be feasible or suitable, the responsibilities, powers and fields of action of each of several Regulatory Agencies must be clearly defined and determined in order to avoid contradictions and overlapping. Any Regulatory Agency should have the authority to delegate, under its own exclusive responsibility, all or part of its executive and/or operational functions to other organizations or units of the central, regional or local administration that act as its agents and representatives.

The edicts and orders of the Regulatory Agency should be binding upon tailings dam owners as well as other government units of any level.

All positions within the Regulatory Agency vested with decision making powers or authority should be occupied by publicly licensed professionals, where such public licensing is required by law, in accordance with the principal professional knowledge required for each particular position.

### 3.2. OWNER'S RESPONSIBILITIES

The owner shall be responsible for satisfying all regulations pertaining to the structural and environmental safety of the tailings dam and related facilities.

The owner shall provide to the Regulatory Agency all reports and related data as required for each stage of the tailings dam development commencing with the site investigation and design report required to obtain a permit to construct the tailings dam, continuing through construction and operation reports, and ending with closure and rehabilitation reports.

The owner should be obliged to report immediately to the Regulatory Agency any unusual event concerning such matters as increased seepages, instability, loss of freeboard, etc., which affects or may affect the stability of the dam.

Dans le cas d'un changement ou d'un transfert de propriété ou de responsabilité afférente à l'exploitation d'un barrage de stockage de stériles, le Maître d'ouvrage notifie immédiatement à l'organisme de contrôle la nouvelle situation.

Les obligations du Maître d'ouvrage du barrage de stériles vis-à-vis des tiers sont régies par une loi nationale ou provinciale suivant ce qui est applicable.

La responsabilité du Maître d'ouvrage pour la construction, l'exploitation et la restructuration d'un barrage de stériles est exercée par des ingénieurs publiquement agréés (lorsque cet agrément est requis par la loi) et, dans tous les cas, par des ingénieurs suffisamment qualifiés et expérimentés.

### **3.3. INSPECTION, AUSCULTATION ET ARCHIVAGE**

L'inspection au cours de la construction du remblai d'amorce de la phase 1, y compris l'installation et le relevé de tous les appareils d'auscultation nécessaires, sont effectués par le bureau d'étude responsable du projet du remblai d'amorce.

L'étape n° 2 consistant en la construction continue du barrage principal de stériles est en général réalisée par le Maître d'ouvrage (l'exploitant de la mine) d'après les plans de construction établis par le projeteur. Pendant les premières années de la construction, le propriétaire fait intervenir le projeteur pour inspecter la construction de façon à être sûr que celle-ci est réalisée conformément au projet. Si l'on découvre que les conditions réelles d'exploitation sont différentes de celles prises en compte dans le projet de base, des modifications appropriées de ce projet seront faites par le projeteur en accord avec le Maître d'ouvrage, de façon à être assuré que le barrage de stériles est construit d'une manière sûre et acceptable.

Sur la base d'une visite annuelle, la construction d'un barrage de stériles en phase 2 est soigneusement inspectée et réévaluée par le projeteur ou un ingénieur expérimenté et compétent dans la construction des barrages de stériles. Le coût de telles inspections est supporté par le Maître d'ouvrage. Un rapport complet présentant les résultats de l'inspection et de la réévaluation ainsi que tous les changements recommandés dans les méthodes de construction et considérés comme nécessaires pour assurer la sécurité du barrage de stériles, est soumis au Maître d'ouvrage avec copie à l'organisme de contrôle.

Des mesures et procédures appropriées sont établies pour décharger toutes les personnes engagées dans l'inspection, de tout conflit d'intérêt ou de responsabilité personnelle, qui peuvent résulter d'une telle participation.

Un programme d'auscultation est mis en place au début de la construction du barrage de stériles et des lectures doivent être faites à intervalles de temps appropriés tout au long de la vie de l'ouvrage. Des appareils de mesures adéquats sont également mis en place à la fin des opérations de dépôts dans la retenue afin de suivre le comportement du barrage de stériles pendant les phases de restructuration et à long terme (voir chapitre 4.3. pour les recommandations détaillées concernant l'auscultation).

Des archives complètes relatives au projet, à la construction et au comportement du barrage de stériles et de la retenue ainsi qu'aux événements qui ont affecté ou auraient pu affecter la sécurité du barrage sont conservées et parfaitement classées pendant toute la durée de l'exploitation minière. Ces archives comprennent (liste non limitative) : — documents du projet, tels que les critères, les données, les

In the event of any change or transfer of ownership or responsibility for operation of a tailings storage facility, the owner should notify the Regulatory Agency immediately of the new conditions.

The liability of owners of tailings dams to third parties shall be governed by the established National or State (Provincial) law, whichever is applicable.

The owner's responsibility for the construction, operation, and rehabilitation of a tailings dam should be exercised by publicly licensed engineers, where such public licensing is required by law, and in any case by engineers who are suitably qualified and experienced.

### **3.3. INSPECTION, MONITORING AND RECORDS**

Inspection of the construction of the Stage I starter dam, including the installation and reading of all required performance instrumentation, should be carried out by the engineering organisation responsible for the design of the starter dam.

The Stage II, continuous, ongoing construction of the main tailings dam is normally carried out by the owner (mine operator) following the construction plan set out by the designer. During the initial few years of construction the designer should be retained by the owner to inspect the ongoing Stage II tailings dam construction to ensure that construction is proceeding in accordance with the design intent. Should actual operating conditions be found to differ from those assumed in the original design, appropriate modifications to the design should be made by the designer, in consultation with the owner, to ensure that the tailings dam is being constructed in a safe and acceptable manner.

On a once yearly basis the ongoing Stage II tailings dam construction should be thoroughly inspected and reviewed by the original designer or by an engineer experienced and competent in the construction of tailings dams. The cost of such inspections should be borne by the owner. A complete report presenting the results of the inspection and review and any recommended changes in construction procedures considered necessary to ensure the continued safety of the tailings dam should be submitted to the owner with copies made available to the Regulatory Agency.

Adequate measures and procedures should be established to relieve all persons engaged in inspection from any conflict of interest, or personal liability, that may develop from such participation.

A monitoring program should be initiated at the start of construction of the tailings dam and readings taken at appropriate intervals throughout the entire construction period. Appropriate instrumentation should also be installed at the completion of tailings deposition into the pond to monitor the tailings dam's performance during the rehabilitation and long-term phases. (Refer to Section 4.3. for detailed recommendations concerning instrumentation and monitoring.)

Complete records of the design, construction and behaviour of the tailings dam and pond, as well as of any occurrence that affected or could have affected the tailings dam's safety, should be kept and properly filed during the operating life of the mine. These records should include, but not be limited to : design documents such as design criteria, input data, reports on site exploration and model testing,

rappports de reconnaissances du site et des essais sur modèle, les calculs, les plans et les spécifications — les rapports concernant la construction, tels que les documents sur les méthodes et matériaux de construction, les rapports sur les contrôles de qualité, essais de laboratoire et inspections pendant la construction, les observations du comportement du barrage de stériles et un ensemble complet des plans conformes à l'exécution — les rapports sur le comportement pendant l'exploitation, tels que les lectures des instruments et leur interprétation, les rapports d'inspection et les évaluations de la sécurité — tous les rapports sur les modifications, travaux d'agrandissement et/ou de réparation — enfin les documents sur des événements exceptionnels dans la mesure où ils sont en relation avec la sécurité du barrage. Aucun de ces rapports ne sera détruit tant que le barrage ou toute partie de cet ouvrage reste en place.

Au moins deux jeux des documents ci-dessus mentionnés sont disponibles en permanence et facilement accessibles, l'un chez le Maître d'ouvrage (de préférence au site du barrage) et l'autre à l'organisme de contrôle. Le Maître d'ouvrage est responsable de la mise à jour, de l'archivage et de la disponibilité du jeu conservé à son bureau ainsi que de la fourniture, à l'organisme de contrôle, des documents mis à jour.

### **3.4. MISE A JOUR DES RÈGLEMENTS ET DES PROCÉDURES**

L'ingénierie des barrages de stériles étant une discipline en rapide et constante évolution, les lois concernant la sécurité de ces barrages et de leurs retenues doivent définir le cadre de la politique générale et des conditions requises, au lieu de fixer, de façon rigide, des méthodes, procédures et détails techniques, ce qui permettra de mieux prendre en compte les futurs progrès de la technologie.

L'organisme de contrôle établit un plan qui fixe les obligations, les méthodes et les intervalles auxquels les procédures et règlements de son programme de sûreté sont revus et mis à jour, ceci en tenant compte des progrès de la technologie ainsi que de l'apparition éventuelle d'innovations ou de percées scientifiques.

Les principes et règlements décrits dans les présentes recommandations se rapportent à l'état actuel de la technique. Elles seront périodiquement revues et mises à jour afin que les pratiques défectueuses ou obsolètes soient amendées.

Les personnes chargées de la surveillance, de l'inspection et de l'évaluation de la sécurité des barrages de stériles se tiendront au courant des règlements et des méthodes au fur et à mesure de leur mise à jour, ainsi que des progrès technologiques influençant le projet, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages de stériles.



calculations, drawings, and specifications; construction records such as documentation on construction methods and materials, reports on quality control, laboratory testing and construction inspection, observations of the tailings dam's performance, and a complete set of construction record drawings; records of operational behaviour such as instrument readings and related interpretations, inspection reports, and safety evaluations; any records on alterations, enlargements and/or repair work; and reports on unusual events or occurrences related in any way to the safety of the tailings dam. None of these records should be disposed of as long as the dam or any part of it remains in place.

At least two sets of the aforementioned records, one in the owner's office (preferably at the dam site) and the other in the office of the Regulatory Agency, should be permanently available and easily accessible for reference. The owner should be responsible for the updating, filing and availability of the set in his office as well as for the supply of updated records to the Regulatory Agency.

#### **3.4. UPDATING REGULATIONS AND PROCEDURES**

Since tailings dam engineering is a discipline subject to rapid and constant evolution, laws dealing with the safety of tailings dams and ponds should, rather than setting out rigid methods, procedures or technical details, constitute a framework that fixes the general policy and requirements, thus allowing full advantage to be taken of future advances in technology.

The Regulatory Agency should establish a plan that fixes the requirements, methods, and intervals of reviewing and updating of regulations and procedures of its safety program, taking into account the advancement of technology as well as the possible occurrence of innovations and scientific breakthroughs.

The principles and requirements outlined in these guidelines are intended to refer to the current state of technological development. They need to be periodically reviewed and updated to ensure that deficient or obsolete practices are corrected.

The persons entrusted with the surveillance, inspection and evaluation of tailings dam safety should keep abreast of the updated regulations and procedures and of those technological advancements which impact on the design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams.

---

## 4. PROJET

---

### 4.1. HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE

#### 4.1.1. Généralités

Les stériles et l'eau stockée derrière le barrage sont généralement toxiques et, dans de nombreux cas, aucune évacuation d'effluents n'est autorisée (retenue de stériles en circuit fermé). Dans ce cas, le bilan hydraulique devient un facteur très important car toute l'eau entrant dans la retenue doit être stockée ou traitée avant d'être évacuée.

Même si l'évacuation du surplus d'effluents est autorisée en périodes de forts écoulements, la maîtrise d'importants volumes d'eau pose de nombreux problèmes et nécessite souvent la construction d'une série d'évacuateurs, chacun à des cotes de plus en plus élevées au fur et à mesure de la montée du barrage.

Pour ces raisons et bien qu'ils ne soient pas des barrages classiques de stockage d'eau, les barrages de stériles sont implantés de telle façon que leur bassin versant soit aussi faible que possible. Dans le cas contraire, des dérivations sont construites pour conduire les eaux de ruissellement autour de la retenue.

#### 4.1.2. Méthodes et critères de projet

Avant de commencer le projet, les critères sur lesquels reposent les études hydrologiques et hydrauliques sont clairement définis et justifiés. Dans le choix et la définition des critères de projet, on tiendra compte d'éléments tels que : quantité et précision des données hydrologiques, disponibilité des méthodes et moyens de traitement; degré de précision des méthodes de calcul, incluant les logiciels à employer; possibilité d'une modification importante du bassin versant par dérivation des eaux de surface autour de la retenue.

Les méthodes utilisées pour le projet seront conformes aux règles de l'art.

Les critères de projet satisferont aux règlements applicables au projet.

Dans les cas où l'aménagement comprend des ouvrages hydrauliques importants, on examinera s'il est nécessaire d'établir un modèle hydraulique permettant de vérifier le projet déduit des analyses théoriques.

L'effet du vent et des vagues est analysé lorsqu'on détermine la revanche que doit présenter le barrage de stériles au-dessus du niveau normal d'exploitation, ainsi que la protection nécessaire en talus. (Pour les barrages de stériles présentant une grande plage de faible pente, une protection spéciale contre les vagues n'est pas nécessaire.)

#### 4.1.3. Crue de projet

La précision et la validité des données hydrologiques déduites des documents historiques sont vérifiées par des calculs théoriques. Dans ce but, on peut utiliser

---

## 4. DESIGN

---

### 4.1. HYDROLOGY AND HYDRAULICS

#### 4.1.1. General

The tailings and water stored behind the dam are usually toxic and, in many instances, no discharge of effluent is allowed (closed circuit tailings pond). For this case the pond water balance becomes a critically important factor as all water entering the pond must be stored or treated before release.

Even if the discharge of surplus effluent is allowed during high runoff periods, handling large volumes of water poses many problems and often requires the construction of a series of spillways, each at successively higher elevations, as the tailings dam is raised.

For the above reasons, tailings dams, unlike conventional water storage dams, should be located such that the watershed contributing to the tailings pond is kept to a minimum value. Where this cannot be achieved diversions should be constructed to convey the excess runoff around the tailings pond.

#### 4.1.2. Design Methods and Criteria

Before starting the actual design work, the criteria upon which hydrologic and hydraulic design are to be based should be defined and documented. In the selection and definition of design criteria, account should be taken of such items as : amount and accuracy of available hydrologic and correlated data; availability of processing methods and equipment; degree of precision of computational methods including computer software to be employed; and the possibility of substantial modification in the drainage area by the diversion of surface water around the tailings pond.

Design methods should conform to current state-of-the-art procedures.

Design criteria must satisfy the regulatory requirements applicable to the project.

In those instances where major hydraulic structures are a part of the tailings storage facilities, consideration should be given to the need for and suitability of hydraulic model testing, as a check on hydraulic layout and design derived from theoretical analyses.

The effect of wind and waves should be analyzed when determining the necessary freeboard of the tailings dam above normal operating level, and the slope protection required. (For tailings dams with wide flat beaches, special wave protection is not required.)

#### 4.1.3. Design Flood

Accuracy and reliability of hydrological data derived from historical records should be checked by theoretical computation. To this end, procedures based on

des méthodes basées sur les enregistrements pluviométriques, sur la comparaison avec les débits mesurés sur des bassins versants voisins, etc. A l'inverse, par des techniques similaires de comparaison, les valeurs résultant de calculs purement théoriques pourront être vérifiées à partir des données disponibles.

S'il existe peu, ou pas, de données historiques, les données de base du projet peuvent être obtenues par corrélations avec des enregistrements hydrologiques et météorologiques provenant de bassins versants voisins. Cependant, la détermination des relations et des facteurs de corrélation exige un très grand soin. Les valeurs déduites de ces analyses doivent être vérifiées sur le terrain par des mesures de débits, par comparaison avec des traces laissées par les crues, etc.

Le projet des barrages de stériles importants, dont la rupture se traduirait par des pertes de vies humaines et des dégâts matériels importants, doit être basé sur la crue maximale probable (PMF). Celle-ci résulte de la combinaison de la précipitation maximale avec les conditions de ruissellement les plus défavorables; elle doit être utilisée pour définir l'hydrogramme de la crue de projet. Pour les barrages de stériles où l'on peut évacuer l'eau vers l'aval pendant les fortes crues, la PMF est, en général, partiellement évacuée et partiellement stockée. Pour les barrages de stériles en circuit fermé où aucune évacuation n'est permise, le barrage de stériles doit présenter une revanche suffisante pour permettre le stockage de la PMF. On devra néanmoins prévoir un évacuateur de secours pour qu'en cas d'urgence (par exemple, dans le cas d'une retenue de niveau élevé dû à une fermeture de la mine, plus une PMF) l'eau excédentaire puisse être évacuée vers l'aval de façon à éviter le déversement sur le barrage. Bien que l'évacuation d'eau toxique doive être évitée dans toute la mesure du possible, il est préférable de contrôler l'évacuation plutôt que de provoquer le déversement sur le barrage, ce qui pourrait entraîner une rupture catastrophique avec libération de volumes extrêmement importants d'eau et de stériles.

## **4.2. PROJET DES OUVRAGES**

### **4.2.1. Méthodes, critères et conduite du projet**

Les méthodes et critères de projet doivent être conformes aux règles de l'art.

Avant de commencer effectivement les travaux du projet, les critères de base du projet de barrage et de ses ouvrages annexes doivent être définis et justifiés par des documents.

Les critères de projet doivent satisfaire aux règlements applicables.

La conduite du projet tient compte des exigences particulières suivantes relatives à la sécurité :

- réalisation de toutes les études du projet par un organisme spécialisé dans les études et la surveillance de la construction des barrages de stériles, sous la direction d'un généraliste en ingénierie des barrages de stériles;
- élimination de conceptions et de détails de projet inutilement compliqués;
- compatibilité entre le projet et les expériences de construction, la technologie, les matériaux et les équipements disponibles;

precipitation records, comparison with runoff data from neighbouring drainage areas, etc., may be applied. Conversely, values resulting from purely theoretical computations should be checked by similar comparative techniques against available data records.

If little or no historical record is available, data on which design can be based may be obtained from correlation with hydrologic and meteorologic records from neighbouring drainage areas. However, care must be exercised in determining relationships and conversion factors. The resulting values should be checked in the field by runoff measurements, comparison with marks left from floods, etc.

The design of major tailings dams, where failure could result in loss of life and extensive property damage, should be based on the probable maximum flood (PMF). The latter should be derived from the combination of maximum precipitation with the most unfavourable runoff conditions and is to be used to produce the design flood hydrograph. For tailings dams that allow downstream discharge during high flows, the PMF is usually handled by a combination of storage and spillway discharge. For closed circuit tailings dams, where no discharge is permitted, the tailings dam must provide sufficient freeboard to allow the storage of the PMF as a surcharge on the tailings pond. Suitable emergency spillway capacity should also be provided so that in an emergency (e.g. high pond levels due to a mine shutdown plus a PMF), surplus water could be spilled downstream to prevent overtopping of the tailings dam. Although the discharge of toxic waters is to be avoided if at all possible, controlled discharge is preferable to having the dam overtopped which could result in a catastrophic failure with the release of huge volumes of tailings and water.

## **4.2. STRUCTURAL DESIGN**

### **4.2.1. Design Methods, Criteria and Strategy**

Design methods and criteria should conform with current state-of-the-art knowledge.

Before beginning the actual design work, the criteria upon which the design of the tailings dam and appurtenant works are to be based should be defined and documented.

Design criteria must satisfy the regulatory requirements applicable to the project.

Design strategy should take into consideration the following specific safety related requirements :

- performance of all design work by an organization specialized in the design and construction supervision of tailings dams, under the direct management of a tailings dam engineering “ generalist ”;
- avoidance of unnecessarily complicated design concepts and details;
- compatibility of design and available construction experience, technology, materials and equipment;

— études théoriques et expérimentales soignées des concepts nouveaux et/ou des méthodes de construction et des matériaux non classiques, dans la mesure où de tels méthodes et matériaux seraient utilisés;

— accès faciles à toutes les zones critiques du barrage de stériles, afin de faciliter la surveillance et des réparations éventuelles futures ou des travaux de restructuration;

— ventilation adéquate des galeries, puits, tunnels, bâtiments de contrôle, conduits hydrauliques et autres enceintes dans lesquels il est nécessaire de pénétrer pour des travaux ou des inspections ou dans lesquels des gaz inflammables ou toxiques peuvent s'accumuler;

— conditions d'exploitation et d'entretien aussi simples que possible;

— projet suffisamment adaptable de telle façon que des ajustements puissent être facilement réalisés si les critères d'origine du projet changent (par exemple, finesse du broyage, volume des stériles à stocker, etc.).

Les calculs, hypothèses, reconnaissances, essais, conclusions et décisions se rapportant au projet sont soigneusement justifiés.

Le projeteur fournit à l'entrepreneur les détails complets de tous les ouvrages de génie civil. Aucun aménagement de détail n'est laissé aux soins de l'entrepreneur, du maître d'ouvrage ou de l'exploitant.

#### **4.2.2. Charges appliquées aux ouvrages et coefficients de sécurité**

Le barrage de stériles et ses ouvrages annexes doivent être conçus pour supporter les combinaisons des charges statiques et dynamiques les plus défavorables, incluant celles qui peuvent se produire uniquement pendant la construction. Les coefficients de sécurité peuvent cependant varier avec la probabilité d'apparition des événements.

Les effets des dispositifs de réduction des charges, tels que, par exemple, les drains de décharge des pressions et sous-pressions, sont pris en compte lorsqu'on analyse la stabilité de l'ouvrage, en adoptant des coefficients de sécurité classiques. Cependant, on doit vérifier, par le calcul, que la sécurité de l'ouvrage reste acceptable, avec un coefficient de sécurité réduit, dans l'hypothèse où ces dispositifs de drainage ne fonctionnent pas.

Lorsqu'on détermine les charges et les combinaisons de charges, on tient compte de leur évolution éventuelle dans le temps.

Pour des raisons économiques, il peut être souhaitable de baser le projet sur les conditions les plus probables plutôt que sur les conditions les plus défavorables susceptibles de se produire. Mais, dans ce cas, il est absolument nécessaire de prévoir une auscultation efficace et fiable pendant la construction et le début de l'exploitation.

#### **4.2.3. Reconnaissances géotechniques**

L'importance et l'extension des reconnaissances des fondations dépendent de la taille et de l'importance de l'ouvrage, ainsi que de la complexité des problèmes géologiques et géotechniques du site. Le programme de reconnaissances, de même que les études géotechniques, doivent être guidées par les nécessités et conditions propres du site; elles sont conçues de façon à pouvoir être adaptées en fonction des conditions de site telles qu'elles apparaissent.



- careful theoretical and experimental investigation of new design concepts and/or unconventional construction methods and materials, if either one should be employed;

- provision for adequate access to all critical areas of the tailings dam in order to facilitate safety surveillance and possible future repair or rehabilitation work;

- provision of adequate ventilation of galleries, shafts, tunnels, instrument houses, water carrying ducts or other enclosed spaces that can be entered for work or inspection or in which inflammable or toxic gases can accrue;

- provision for as simple operation and maintenance conditions as possible;

- provision of flexibility in the design so that adjustments can be made readily should some of the original design criteria change (i.e. fineness of grind, volume of tailings to be stored, etc.).

Design computations, considerations, investigations, testing, conclusions and decisions should be thoroughly documented.

The designer should supply the construction force with complete details of all civil engineering structures. No detailing should be left for the contractor, the owner or the operator.

#### **4.2.2. Loads and Safety Factors**

The tailings dam and appurtenant works should be designed to withstand the most severe and unfavourable combination of static and dynamic loads including those that may occur only during construction. Safety factors, however, may vary in accordance with the probability of occurrence of such combinations.

The effect of loading relief devices, such as uplift relief or pressure relief drains, should be taken into account when analyzing the structure's stability, with the application of conventional safety factors. However, the structure's safety should also be ensured by computation under the assumption that those loading relief devices are not functioning. In this case, however, a reduced safety factor would be appropriate.

When determining loads and loading combinations, their possible alteration with aging of the tailings dam should be taken into account.

For economic reasons, it may be desirable to base design on the most probable conditions rather than on the most unfavourable conditions that could prevail. In this case, however, it is absolutely necessary to provide for efficient and reliable monitoring during construction and the early stages of operation.

#### **4.2.3. Geotechnical Investigations**

The amount and extent of foundation exploration should be appropriate to the size and importance of the structure and to the complexity of the local tectonic and geologic features. The exploration program, as well as the geotechnical analysis and design, must be guided by the site-specific requirements and conditions and should be capable of revision as required to satisfy actual site conditions as they are revealed.

Les principaux objectifs des reconnaissances géotechniques détaillées comprennent la détermination de :

- la géologie des dépôts superficiels et du rocher de fondation du site. Ceci doit inclure une stratigraphie détaillée des sols et du rocher donnant la profondeur, l'épaisseur, la continuité et la composition de chacune des couches les plus représentatives, ainsi qu'un historique des dépôts et des érosions;

- l'hydrogéologie du site incluant : la définition des aquifères et aquicludes, la détermination de la piézométrie de chacun des aquifères, la détermination de la conductivité hydraulique, la détermination des écoulements de la nappe localement et régionalement;

- les propriétés géotechniques de toutes les couches de sol et de rocher qui peuvent intervenir dans la conception du barrage et de la retenue de stériles;

- la disponibilité de matériaux acceptables pour la construction du barrage et des revêtements d'étanchéité.

Lors de l'interprétation des résultats des essais de laboratoire et/ou *in situ*, on doit se rappeler que ces résultats sont relatifs à des échantillons. Pour transposer ces résultats en données numériques pour le projet, on doit considérer les relations entre les échantillons et la structure géologique prise dans son ensemble.

En tirant profit des observations faites lors des fouilles, les décisions à prendre pendant les études du projet peuvent s'appuyer sur les conditions de fondation les plus probables auxquelles on peut raisonnablement s'attendre, plutôt que sur les conditions les plus défavorables que l'on peut déduire d'un nombre nécessairement limité de données fournies par les reconnaissances de la fondation. En cours de construction, des renseignements sûrs sur les conditions du sous-sol sont obtenus, ce qui permet, le cas échéant, de remédier à des imperfections du projet. Ainsi, des solutions prudentes et le coût correspondant plus élevé peuvent être évités. Si les observations pendant la construction conduisent à modifier ou à renforcer les fondations, cela peut entraîner des dépenses supplémentaires. En utilisant cette approche, il est absolument nécessaire de prévoir des moyens appropriés pour résoudre les problèmes posés, dans le cas où les observations révéleraient des conditions moins favorables que celles adoptées dans le projet.

#### **4.2.4. Percolations**

Le contrôle des percolations est un aspect particulièrement important du projet, de la construction et de l'exploitation des barrages de stériles, du fait qu'il affecte directement : la stabilité du talus aval, l'érosion interne par renard, la pollution des eaux de surface et souterraines à l'aval du barrage. Les pertes par percolation, qui peuvent être tout à fait acceptables pour un barrage classique de stockage d'eau, peuvent être inacceptables pour un barrage de stériles par suite des polluants contenus dans l'eau de percolation.

Le projeteur fournit les prévisions et analyses théoriques concernant la perméabilité des fondations et des remblais, ainsi que les estimations des débits de percolation.

Les moyens adéquats permettant de diminuer les percolations, tels que parois étanches, rideau d'injection, tapis imperméable, etc. doivent être, si nécessaire, inclus dans le projet du barrage.

The main objectives of the detailed geotechnical investigations should include determining the :

- site geology of both superficial deposits and the bedrock. This should include detailed soil and bedrock stratigraphy, giving depth, thickness, continuity and composition of each significant stratum and a history of deposition and erosion;

- site hydrogeology, including : definition of aquifers and aquicludes, determination of the piezometric pressures in all aquifers; determination of hydraulic conductivity; determination of both local and regional groundwater flow systems;

- geotechnical properties of the soil and rock strata that may effect design of the waste impoundment structure;

- availability of suitable construction materials for building dams or dykes and impervious linings.

When interpreting the results of laboratory and/or field tests, it should be kept in mind that results relate to samples. To transform such results into numerical data upon which design can be based, the relationship of the samples to the geological structure as a whole has to be considered.

By taking advantage of appropriate field observations during excavation, design decisions may be based on the most probable foundation conditions that can reasonably be expected, rather than on the most unfavourable conditions which would be deduced from the analysis of a necessarily limited amount of data from foundation exploration. As construction goes on, reliable information on the real subsurface conditions will be obtained and possible shortcomings in the design can be remedied. Thus, unnecessarily conservative solutions determined *a priori*, with corresponding higher costs, can possibly be avoided. If observation during construction indicates the necessity of stronger or more sophisticated foundation works, additional expenditures may be required. Using this approach, however, it would be absolutely necessary to devise in advance, appropriate means for the reliable solution of problems which may develop should observations disclose less favourable conditions than those upon which the design has been based.

#### 4.2.4. Seepage

Seepage control is a critically important aspect in the design, construction, and operation of tailings dams as it directly affects : the stability of the downstream slopes, internal erosion due to piping, and pollution of ground and surface waters downstream of the dam. Seepage losses, which might be entirely acceptable for a conventional water storage dam could be unacceptable for a tailings dam because of the pollutants contained in the seepage water.

Theoretical forecasts and analyses of the permeability of foundations and embankments and of the rate of seepage flow to be expected should be furnished by the designer.

Adequate means of minimizing seepage flows such as cutoffs, grout curtains, impervious blankets, etc., should be incorporated into the tailings dam design as required.

Des filtres et drains appropriés sont prévus pour permettre l'écoulement en toute sécurité des débits de percolation à travers les fondations, les appuis et le remblai, ainsi que leur collecte et leur mesure. Pour les barrages de stériles, la qualité des eaux de percolation est également déterminée.

#### **4.2.5. Séismicité**

La détermination de la stabilité des barrages de stériles sous l'effet des séismes est un aspect extrêmement important du projet. Les sables lâches et saturés, de granulométrie correspondant à celle des stériles miniers, sont très sujets à la liquéfaction sous séisme. La liquéfaction des stériles dans la retenue se traduit par une force de cisaillement supplémentaire et brutale sur le barrage (différence entre la poussée des terres au repos et celle des stériles liquéfiés), phénomène qui ne se produit pas pour les barrages classiques de stockage d'eau. En conséquence, tous les calculs dynamiques des barrages de stériles (en y incluant l'approche pseudo-statique simplifiée et les méthodes plus complexes disponibles) doivent, par rapport aux procédures utilisées pour l'analyse des barrages classiques, être modifiés pour tenir compte de cette force supplémentaire de cisaillement. Il en résulte une augmentation des pressions interstitielles le long des surfaces de rupture potentielles ainsi qu'une force additionnelle d'inertie sur le barrage.

La prise en considération des séismes dans les études d'un projet de barrage de stériles situé dans une région ayant une activité sismique naturelle est obligatoire. La séismologie et le génie parasismique constituent un domaine de spécialisation sujet à des évolutions rapides. L'étude de la réponse d'un barrage de stériles à un séisme doit donc s'appuyer sur les méthodes et critères les plus récents.

Pour évaluer le risque sismique, on examine avec soin les enregistrements de séismes historiques, ainsi que l'influence des failles ou autres accidents tectoniques sur le déclenchement, la magnitude et la localisation des séismes éventuels. Si l'on conclut qu'aucune force sismique ne doit être prise en compte dans l'étude du projet, cette décision sera justifiée et s'appuiera sur des documents.

Pour les barrages de stériles les plus importants dont la rupture se traduirait par des pertes humaines et des dommages matériels considérables, l'analyse sismique est basée sur le séisme maximal possible (MCE). Cette analyse ne doit pas être limitée aux ouvrages mais doit également porter sur tous les équipements essentiels, nécessaires à une exploitation sûre. Elle doit tenir compte de la technologie la plus récente. Le séisme maximal possible est défini comme un séisme hypothétique susceptible de prendre naissance à partir de foyers sismiques potentiels, locaux ou régionaux, et de provoquer sur le site le plus fort mouvement vibratoire du sol. Bien que le barrage de stériles et ses ouvrages annexes puissent être fortement endommagés par les effets d'un MCE, le critère essentiel est de maintenir l'intégrité du barrage de façon à éviter toute libération d'eau et/ou de stériles.

### **4.3. AUSCULTATION**

#### **4.3.1. Généralités**

L'auscultation des ouvrages de stockage de stériles peut être classée en 3 catégories. La première catégorie inclut tous les travaux effectués avant le projet

Adequate filters and drains should be provided to allow seepage flows to safely pass through foundations, abutments, and embankments and be collected and measured. For tailings dams the water quality of seepage flows should also be determined.

#### **4.2.5. Seismicity**

Determination of the stability of a tailings dam under earthquake loading is a critically important aspect of tailings dam design. Loose, saturated sands of the gradation normally produced from mine tailings are highly susceptible to liquefaction under earthquake loadings, as are the tailings stored behind the dam. Liquefaction of the tailings in the pond places an additional sudden shear force on the dam (the difference between earth pressure at rest and the liquefied tailings) which does not occur for conventional water storage dams. Consequently, all dynamic analyses for tailings dams, including pseudo-static, simplified, and complex state-of-the-art, must be adjusted from the procedures used for the analyses of a conventional water dam to compensate for this extra shear force. The end results are an increase in pore pressures along each failure surface as well as an additional inertial force against the dam.

The consideration of earthquake motion in the design of a tailings dam to be built in a region of natural seismic activity is mandatory. Earthquake engineering is a field of specialization subject to rapid evolution. The analysis of the response of a tailings dam to seismic activity should therefore be based on, and guided by, the latest standards and methods.

To evaluate seismic potentiality, historical earthquake records as well as the influence of faulting or other tectonic features on the estimate of the occurrence, magnitude, and location of possible seismic activity should be carefully examined. If it is determined that no seismic forces should be considered in the design analyses, such determination should be justified and documented.

For major tailings dams, where failure could result in loss of life and extensive property damage, seismic analysis should be based on the maximum credible earthquake (MCE). This analysis should not be limited to structures but extended to all equipment essential for safe operation and should be carried out in accordance with current technology. The maximum credible earthquake is defined as the hypothetical earthquake that could be expected from the regional and local potential sources for seismic events and that would produce the severest vibratory ground motion at the site. Although the tailings dam and appurtenant structures might be badly damaged from the effects of a MCE, the essential criterion is that the dam maintains its integrity and does not allow the release of impounded water and/or tailings.

### **4.3. INSTRUMENTATION AND MONITORING**

#### **4.3.1. General**

Instrumentation and monitoring of tailings storage facilities falls into three categories. The first category includes all work carried out prior to design and

et la construction. La seconde catégorie comprend tous les travaux permettant de suivre le comportement des ouvrages en exploitation. La troisième catégorie porte sur la période postérieure aux activités minières, la restructuration étant en cours. Ces trois phases sont toutes importantes et doivent être considérées comme faisant partie du projet.

L'auscultation d'un barrage sous l'angle de la sécurité comprend les observations et mesures essentielles permettant l'évaluation de la stabilité et de l'intégrité des ouvrages.

Le dispositif et le programme d'auscultation doivent être suffisamment souples pour être adaptés pendant la phase de construction et/ou d'exploitation en fonction de changements possibles dans les conditions anticipées. Il doit être également compatible avec le degré de formation, les capacités et le mode de travail du personnel exploitant.

Le dispositif d'auscultation est conçu avec la redondance nécessaire, pour éviter sa défaillance et faciliter sa vérification.

Le projeteur établit des instructions pour la mise en place et la lecture des appareils de mesures ainsi que pour la collecte des données et leur analyse.

Pour chacun des dispositifs d'auscultation utilisés, des archives complètes concernant le projet, la mise en place, l'étalonnage, les réparations et le fonctionnement, sont conservées.

#### **4.3.2. Auscultation avant la construction**

Tout au début des reconnaissances du site, un ensemble d'observations météorologiques et hydrologiques doit être rassemblé. Pour de nombreux sites miniers, ces données sont rares sinon inexistantes et, lorsqu'ils établissent le projet préliminaire, les projeteurs sont souvent obligés d'extrapoler à partir d'un site voisin où de telles données sont disponibles. De telles observations sont, dans ces conditions, nécessaires dès que possible pour permettre une vérification des données extrapolées et pour commencer à accumuler des données s'appliquant spécifiquement au site.

Un des points principaux du dispositif d'auscultation avant construction est la mise en place de piézomètres permettant de mesurer les pressions de l'eau dans les sols de couverture et le bedrock. Tous les piézomètres seront lus à intervalles réguliers tout au long de l'année. Ceci permet d'observer et d'enregistrer les variations et évolutions saisonnières de la piézométrie.

On déterminera également la qualité de l'eau sur des échantillons pris dans les différents aquifères. Ces données sont importantes pour définir les valeurs de référence concernant la qualité de l'eau avant le commencement des opérations minières. L'implantation des piézomètres est conçue, dans toute la mesure du possible, de façon qu'ils puissent être aussi utilisés comme points de prélèvement d'eau, ce qui réduira d'autant les sondages nécessaires au programme de prise d'échantillons d'eau.

#### **4.3.3. Auscultation pendant l'exploitation**

L'auscultation pendant la phase 2 de la construction des barrages de stériles est une procédure importante qui doit permettre de déterminer si les ouvrages se comportent comme prévu par le projeteur. Cette auscultation fournit également les

construction of the facility. The second category includes all work carried out as part of the performance monitoring of the operating facility. The third category includes all work carried out after the mining operations have ceased and rehabilitation has been instituted. All three phases of monitoring are important and should be considered as part of the design requirements.

Monitoring of a dam for safety reasons should include those observations essential for the evaluation of the structural stability and integrity.

The monitoring system and program must be flexible enough to allow for possible changes from anticipated conditions, during construction and/or operation. It should also be compatible with the degree of education, ability, and customs of the people who will ultimately operate the project.

The monitoring system should be designed with the necessary duplication to prevent failure and provide the facility for checking.

The designer should provide detailed instructions for the installation and reading of the monitoring equipment and for data reduction and evaluation.

Complete records on the design, installation, testing, repair, and performance should be kept for every monitoring device.

#### **4.3.2. Preconstruction Instrumentation and Monitoring**

Early in the site investigations, a climate-hydrology package of observations should be formulated. This data is scarce to non-existent at many mining sites and the designers are usually forced to extrapolate from the nearest site having such data when making their preliminary designs. Climate-hydrology observations are therefore needed as soon as possible to provide a check on the extrapolated data and to start an accumulation of climate-hydrology data that applies to the specific site.

Piezometer installations made for the prime purpose of measuring water pressures in both the overburden and bedrock strata are one of the major items of preconstruction instrumentation. All piezometers should be read on a regular basis throughout the entire year. This permits seasonal variations and trends in piezometric pressures to be observed and recorded.

Water quality determinations should also be made on samples taken from the various identified aquifers. These data are important for establishing the base line values for water quality prior to the start of mining operations. The piezometer installations, whenever possible, should be designed in such a manner that they may also be used as water sampling stations and thus reduce or eliminate drill holes required for water sampling programs.

#### **4.3.3. Performance Instrumentation and Monitoring**

Performance monitoring of the ongoing, Stage II tailings dam construction is an important procedure required to determine if the structure is behaving as anticipated by the designers. This monitoring also provides the record data usually

données généralement demandées par les autorités de contrôle pour leur évaluation de l'aménagement. Les dispositifs de mesures utilisés comprennent normalement : des piézomètres, des cellules de tassement, des repères d'alignement, des inclinomètres et des mesures de la qualité de l'eau. Pour les barrages importants implantés dans des zones de forte sismicité, des sismographes sont aussi installés.

#### **4.3.4. Auscultation pendant la phase de restructuration**

Pendant cette phase, la surveillance concerne principalement la qualité des eaux de surface et de la nappe, ainsi que l'érosion du vent et de l'eau. Pour les retenues de stériles d'uranium, la surveillance des émissions du gaz radon est également nécessaire.

### **4.4. CONCEPTION ET ÉTUDE DES RETENUES DE STÉRILES**

#### **4.4.1. Choix du site**

Les retenues de stériles contenant des fluides toxiques doivent être situées dans des zones où le fond et les versants de la retenue sont relativement étanches de façon que des fuites toxiques importantes ne puissent pas se produire dans les eaux de surface ou dans la nappe à l'aval de la retenue. Lorsque les fondations ou les appuis sont perméables, ils seront traités par injection, coupure étanche, tapis étanche ou tout autre moyen adapté.

Dans toute la mesure du possible, les retenues de stériles seront situées dans des zones où le bassin versant de la retenue est de faible importance.

Les retenues de stériles ne seront pas implantées sur des rivières importantes dont les fortes crues doivent être dérivées autour de la retenue, ou stockées dans la retenue puis évacuées, ou maîtrisées par une combinaison de ces méthodes.

#### **4.4.2. Projet**

Les produits stockés dans les retenues de stériles comprennent de l'eau et des stériles. Le volume d'eau stocké et le niveau de l'eau varient en fonction du type d'opération minière. Dans quelques cas, les barrages de stériles sont conçus pour avoir de l'eau de retenue le long de leur parement amont ; dans ce cas ils remplissent la même fonction que les barrages classiques. Cependant, pour la plupart des barrages de stériles, il existe une large plage de boues le long de leur parement amont. Cette plage se comporte comme une zone amont imperméable vis-à-vis du barrage de stériles qui, le plus souvent, est construit avec des sables perméables de stériles.

Un bilan hydraulique précis est établi pour la retenue de stériles de façon que le projeteur puisse déterminer le gain ou la perte nette d'eau dans la retenue. Pour effectuer un tel calcul, le projeteur doit disposer de données précises concernant : la production de l'usine — la concentration des boues de stériles — la masse volumique des stériles déposés — le volume du réservoir — les volumes d'eau recyclés par l'usine — les pertes par évapo-transpiration — les pertes par percolation — et l'hydrologie du bassin versant de la retenue.

Pour les retenues de stériles en « circuit fermé », les deux conditions de base ci-après doivent être satisfaites :



required by the Regulatory Agencies for their assessment of the tailings facilities. Performance monitoring normally should include such items as : piezometers, settlement gauges, alignment gauges, inclinometers, and water quality measurements. For major tailings dams in areas of high seismicity, a seismic monitoring system should also be installed.

#### **4.3.4. Rehabilitation Instrumentation and Monitoring**

Rehabilitation monitoring is primarily concerned with surface and groundwater quality, and wind and water erosion. For uranium tailings ponds radon gas emissions also require monitoring.

### **4.4. TAILINGS POND PLANNING AND DESIGN**

#### **4.4.1. Site Selection**

Tailings ponds containing toxic fluids should be sited at areas where the base and sides of the pond are relatively watertight so that large toxic seepage losses do not occur into ground or surface waters downstream of the pond. Where pervious foundation of abutment conditions exist these should be treated by grouting, impervious cutoffs, impervious blankets or other suitable means.

Wherever possible, tailings ponds should be located at areas where the watershed contributing to the tailings pond is relatively small.

Tailings ponds should not be located on major streams where large flood volumes must be either diverted around the pond, stored in the pond, spilled, or handled by a combination of two or more of these procedures.

#### **4.4.2. Design**

The materials stored in the tailings pond comprise water and tailings. The volume of water stored and the location of the free water surface within the tailings pond varies from one mining operation to another. In a few instances tailings dams are designed to have water stored against their upstream face and must perform the same function as a conventional water storage dam. However, most tailings dams operate with a wide slimes beach against their upstream face. This slimes beach acts as the upstream impervious zone for the tailings dam, which in most instances is built of pervious tailings sand.

An accurate water balance must be developed for the tailings pond so that the designer can determine whether there will be a net gain or loss of water into the pond. To make such a calculation the designer must have accurate data concerning : mill production rates, concentration of slurried tailings, bulk density of deposited tailings, reservoir capacity volumes, mill reclaim water volumes, evapotranspiration losses, seepage losses, and hydrology of the watershed for the tailings pond.

For " closed circuit " tailings pond designs the following two basic requirements must be met :

— la percolation à partir de la retenue ne doit pas pouvoir contourner le barrage de stériles et s'écouler à l'aval du domaine de l'exploitant (ceci est généralement obtenu en construisant un petit barrage de contrôle à l'aval du barrage principal, permettant de collecter toutes les fuites et de les renvoyer dans la retenue de stériles);

— dans toute la mesure du possible, l'eau de la retenue sera récupérée pour réutilisation dans les opérations minières. Ceci signifie que le volume d'eau nouvelle utilisée dans l'opération minière doit être minimal. Dans la mesure où ceci n'est pas le cas, il peut en résulter un surplus d'eau à surface libre dans la retenue de stériles ce qui, sur une certaine période de temps, peut se traduire par des quantités très importantes d'eau à stocker en même temps que les stériles, ou à traiter avant évacuation pour satisfaire, vis-à-vis de l'environnement, les spécifications relatives à la qualité de l'eau.

A partir du bilan hydraulique, on établit des courbes précises du volume de la retenue pour mettre en évidence la relation entre la hauteur du barrage et : le volume total de la retenue créée, le volume total des stériles solides, et le volume total d'eau à surface libre dans la retenue en tenant compte d'un volume de ruissellement annuel moyen. A partir de ces courbes moyennes, on définira l'augmentation du volume de retenue nécessaire pour stocker tous les écoulements exceptionnels à considérer dans le projet (pluie exceptionnelle, orage, crue, etc.).

Pour minimiser la quantité d'eau de ruissellement à stocker derrière le barrage, on essaiera de dériver la majeure partie de ce ruissellement autour de la retenue. Cependant, même cette précaution peut ne pas éliminer totalement la nécessité de stocker un volume appréciable d'eau derrière le barrage pendant les périodes de fortes pluviométries où le débit peut excéder la capacité d'évacuation prévue pour les dérivations, ce débit excédentaire se déversant alors dans la retenue. Cet apport soudain d'eau de ruissellement peut être un facteur très critique qui, en général, détermine le niveau de la crête du barrage afin de présenter une revanche suffisante permettant le stockage de telles quantités d'eau.

Lorsqu'on utilise des tours et des conduites de décantation pour récupérer l'eau de la retenue, ces ouvrages seront conçus pour qu'ils puissent résister de façon satisfaisante aux pressions de l'eau et du sol qui s'exerceront lorsque l'ouvrage aura atteint sa hauteur finale. Ils seront construits en matériaux résistant à l'attaque de tous les éléments corrosifs éventuels contenus dans la retenue de stériles. Dans les nouvelles installations de stériles, des pompes montées sur barge sont fréquemment utilisées pour le prélèvement d'eau dans la retenue. Cette solution élimine les problèmes concernant la sécurité des tours de décantation qui, pour des barrages très hauts, doivent être opérationnelles pendant de longues périodes dans un environnement agressif.

Des solutions avec évacuateur de secours seront incluses dans le projet des retenues de stériles de telle sorte qu'en cas d'urgence l'eau excédentaire puisse être évacuée par ces ouvrages plutôt que de provoquer un déversement sur le barrage susceptible d'entraîner une rupture catastrophique.

Une protection contre l'action des vagues sera mise en place pour les retenues de stériles conçues comme les barrages classiques de stockage d'eau et où il existe un volume d'eau à surface libre le long de leur parement amont. Par contre, pour les retenues conçues de façon qu'il existe une large plage à faible pente entre le barrage et l'eau à surface libre, une protection vis-à-vis des vagues n'est pas nécessaire.

— Seepage from the tailings pond must not be allowed to bypass the tailings dam and flow downstream of the mining property (usually accomplished by constructing a small seepage recovery dam downstream of the main tailings dam which collects all seepages for return to the tailings pond).

— As much water as possible must be reclaimed from the tailings pond for re-use in the milling operation. This means that the volume of fresh, make-up water used in the milling operation must be kept to a minimum. Failure to do so can result in a surplus of free water in the tailings pond, which over a period of time can amount to very large quantities of water that must either be stored along with the tailings or treated to meet environmental water quality specifications before being released.

Accurate tailings pond volume curves must be developed from the water balance calculations, to show the relationships between height of dam and : total volume of tailings pond created; total volume of tailings solids; and total volume of free water in the pond using average yearly runoff figures. Superimposed on these volume curves should be the sudden increase in volume of water storage required to store the design spring runoff and/or any major design storms or flows that must be stored in the tailings pond.

To minimize the amount of runoff water that must be stored behind the tailings dam, as much runoff as possible should be diverted around the tailings pond. However, even this precaution may not eliminate the need to store an appreciable volume of water behind the dam during periods of heavy spring runoff or extended, heavy rainfall which might exceed the design capacity of the diversion ditches and overflow into the tailings pond. This sudden surcharge of runoff water can be a very critical factor and usually controls the dam crest elevation that must be maintained to provide the required storage for such flood flows.

Where decant towers and pipelines are used for reclaiming water from the tailings pond they must be adequately designed to resist the soil and water pressures that will be exerted on them by the ultimate height of the tailings facility. They must also be constructed of materials that will satisfactorily resist attack from any corrosive elements contained in the tailings pond. For new tailings facilities, floating pump barges are frequently used to reclaim water from the tailings pond. This alternative eliminates the concern for the safety of decant towers and lines that must be kept operative for long periods of time, under very high dams, in a corrosive environment.

Emergency spillway alternatives should be incorporated into the tailings pond design so that in an emergency surplus water can be discharged by spilling rather than risk overtopping the tailings dam which could result in a catastrophic failure.

Wave erosion protection should be provided for those tailings ponds that are constructed like a conventional water storage dam and operate with a free water surface against their upstream face. However, for those tailings ponds that maintain a wide, flat beach between the tailings dam and the free water in the pond, wave protection is not required.

#### **4.5. INSPECTION DU BARRAGE**

Le projeteur préparera un ensemble de documents définissant les conditions requises pour l'inspection, l'auscultation et le contrôle de qualité, s'appliquant à la phase 1 (construction du barrage d'amorce) et à la phase 2 (construction par le maître d'ouvrage).

Ces documents définissent clairement les objectifs de chacun des points évoqués ci-dessus de façon que le maître d'ouvrage comprenne les raisons et la nécessité de l'inspection, de l'auscultation et du contrôle de qualité envisagés.

En coopération avec le maître d'ouvrage et l'organisme de contrôle, le projeteur doit mettre au point des instructions concernant l'acquisition, le traitement et la circulation des données et informations obtenues au cours de l'inspection.

#### **4.6. PLANS ET PROCÉDURES D'ALERTE**

Le projeteur doit apporter toute son attention aux situations critiques susceptibles d'affecter la sécurité du barrage et aux mesures d'alerte nécessaires qui en résultent. Les mesures correspondantes sont définies dans le projet.

#### **4.7. PLANS DE RESTRUCTURATION**

A la fin des opérations minières (fermeture), l'exploitant doit préparer, pour l'organisme de contrôle, un rapport détaillant le plan proposé pour la restructuration de la retenue et du barrage de stériles. Ce rapport traitera des points suivants : méthode de restructuration, contrôle des eaux de surface et des nappes, évacuateur de crue, mesures de protection contre l'érosion, auscultation en phase de restructuration, etc. Ce plan de restructuration est spécifique au site car les nécessités de la restructuration peuvent varier d'une retenue de stériles à l'autre. Dans certains cas, la totalité de la zone de la retenue de stériles peut être drainée puis plantée alors que, dans d'autres cas, ceci peut ne pas être possible, une retenue permanente pouvant être maintenue sur tout ou partie de la zone.

#### **4.8. APPROBATIONS DU PROJET**

Les obligations et procédures pour l'approbation du projet et le permis de construire peuvent être définies par une législation nationale ou régionale. Toutefois, au titre de sa fonction de contrôle général, l'organisme de contrôle participe au moins, directement ou indirectement, à l'approbation officielle des documents de base du projet et à la délivrance du permis de construire.

Dans les pays où il n'existe pas de règlements exigeant le contrôle et l'approbation officielle de tous les documents, une procédure courante, mais efficace, de contrôle est définie, de préférence par agrément mutuel entre l'organisme de contrôle, le maître d'ouvrage et le projeteur. Le contrôle et l'approbation portent, au moins, sur les critères de projet, la conception, les méthodes de projet, les paramètres utilisés, les décisions principales, les coefficients de sécurité et les détails relevant de la sécurité. Les documents détaillés de projet sont soumis à un contrôle interne par l'équipe du projeteur. Un contrôle supplémentaire par une unité spécialisée, dépendant du maître d'ouvrage ou des ingénieurs conseils indépendants choisis par le maître d'ouvrage peut être envisagé si cela apparaît nécessaire.

#### **4.5. DAM INSPECTION**

The designer should prepare a set of guidelines setting out the inspection, monitoring, and quality control requirements for both the Stage I, starter dam construction, and the Stage II, construction by the owner.

These guidelines should clearly define the purpose and objectives for each of the above items so that the owner understands the reasons and the need for the recommended inspection, monitoring, and quality control.

In cooperation with the owner and the Regulatory Agency, the designer should develop instructions for the handling, processing and circulation of data and information obtained from inspection.

#### **4.6. EMERGENCY PLANS AND PROCEDURES**

Due consideration should be paid by the designer to possible emergency situations that would affect the dam's safety, and the resulting necessity for emergency operations. Corresponding provisions should be made in the design.

#### **4.7. REHABILITATION PLANS**

At the end of the mining operation (closure) the owner should prepare for the Regulatory Agency a report outlining in detail the proposed rehabilitation plan for the tailings dam and tailings pond. The report should cover such items as : method of rehabilitation, surface and subsurface seepage control, spillways, erosion protection measures, the rehabilitation monitoring plan, etc. The rehabilitation plan must be site specific as rehabilitation requirements will vary from one tailings pond to another, in some instances the entire tailings pond area may be drained and seeded, whereas in other instances, this may not be possible and a permanent pond may be maintained over part or all of the area.

#### **4.8. DESIGN APPROVALS**

The procedure and requirements for the formal approval of design documents and authorization of construction may be the subject of National or State (Provincial) legislation. As part of its supervisory function, however, the Regulatory Agency should directly or indirectly participate at least in the formal approval of the basic design documents and in the issue of the construction authorization.

In countries where there are no legal requirements that call for checking of the quality and formal approval of all detailed documents, an efficient routine checking procedure should be established, preferably by mutual agreement between the Regulatory Agency, the owner and the designer. Such checking and approval should include at least the design criteria, design concepts, design methods, input parameters, major decisions, factors of safety, and safety-relevant details. Detailed design documents should undergo essential in-house checking by the designer's own staff. Additional checking by a specialized unit of the owner's organization or by independent consultants retained by the owner may be agreed upon if deemed necessary.

---

## 5. CONSTRUCTION

---

### 5.1. GÉNÉRALITÉS

Phase 1 : barrage d'amorce — Pour les barrages importants de stériles utilisant la méthode aval de construction, la phase 1 — remblai d'amorce — est souvent conçue et réalisée suivant les pratiques acceptées de l'ingénierie et de la construction des barrages classiques de stockage d'eau. Les recommandations concernant la sécurité au cours de la construction des barrages de stériles sont présentées dans le Bulletin 59 de la CIGB « Recommandations concernant la sécurité des barrages ».

Phase 2 : poursuite de la construction par l'exploitant de la mine — La plupart des barrages de stériles sont construits, de façon continue, par l'exploitant de la mine qui est généralement le maître d'ouvrage. Cette phase commence avec le démarrage des opérations minières et continue jusqu'à ce que celles-ci s'arrêtent ou que la retenue soit pleine. Cette phase n° 2 de la construction est conduite à une vitesse permettant de maintenir la crête du barrage et la plage amont de stériles semi-imperméables à un niveau suffisant au-dessus de la retenue de stériles en cours de montée. Le reste de ce chapitre (chapitre 5) s'applique à la phase 2 de la construction du barrage de stériles « Poursuite de la construction par l'exploitant de la mine ».

### 5.2. MÉTHODES ET MATÉRIELS DE CONSTRUCTION

Les méthodes et matériels de construction doivent permettre d'obtenir la qualité requise pour les travaux et doivent être compatibles avec les opérations de mise en dépôt des stériles par l'exploitant de la mine.

Le projeteur, particulièrement au début de la phase 2 de la construction, maintient un contact continu avec l'équipe du maître d'ouvrage chargé de la construction pour s'assurer qu'il n'existe pas de divergences entre les intentions du projeteur et les capacités et pratiques de construction du maître d'ouvrage. Si des divergences apparaissent, le projeteur et le maître d'ouvrage doivent collaborer pour revoir les méthodes et matériels utilisés de façon à obtenir un produit final tel qu'envisagé. Ceci est essentiel car les méthodes et matériels spécifiés doivent être compatibles avec les opérations minières.

### 5.3. CONTROLE GÉNÉRAL ET INSPECTION DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION

Même si le maître d'ouvrage effectue son propre contrôle général des travaux de construction, le projeteur doit avoir au minimum un mandat pour assurer un suivi technique des opérations de construction. Ce mandat doit permettre de donner de façon permanente des conseils et de faire des visites fréquentes et périodiques du site par des ingénieurs confirmés. Sur cette base, des révisions et des ajustements du

---

## 5. CONSTRUCTION

---

### 5.1. GENERAL

Stage I : Starter Dam - For major tailings dams using downstream methods of construction, the Stage I Starter Dam, is often designed and constructed in accordance with accepted engineering and construction practice for conventional water storage dams. Safety Guidelines covering this aspect of tailings dam construction are presented in ICOLD Bulletin 59 " Dam Safety Guidelines ".

Stage II : Ongoing Construction by Mining Operator - The major portion of most tailings dams is constructed on a continuous basis, by the mining operator, who is usually the owner. The phase begins with the start-up of mining operations and continues until mining operations cease or the tailings pond is filled. The Stage II tailings dam construction is carried on at a sufficient rate to maintain the crest of the tailings dam and its upstream semi-impervious tailings beach a suitable distance above the level of the rising tailings pond. The remainder of this section (Section 5) applies to the Stage II " Ongoing Construction by Mining Operator " portion of tailings dam construction.

### 5.2. CONSTRUCTION METHODS AND EQUIPMENT

Construction methods and equipment must be suitable to obtain the specified quality of work and must be compatible with the mining operator's tailings operations.

The designer, particularly during the early phases of the Stage II construction, should maintain continuous contact with the owner's construction staff to ensure that gaps do not develop between the intentions of the designer and the owner's capacity and construction practices. Where differences develop, the designer and owner should work jointly in revising the methods and equipment being used in such a manner that the intended end-product is obtained. This is essential as methods and equipment specified must be compatible with the mining operation.

### 5.3. CONSTRUCTION SUPERVISION AND INSPECTION

Even though the owner may be carrying out his own construction supervision, the designer should have, at least, an assignment of providing technical guidance to the owner's construction operations. This should include involvement in a continuous advisory position and frequent periodic visits to the site by senior staff. On the basis of such reviews, revisions and adjustments to the original design

projet d'origine peuvent, si nécessaire, être faits de façon à mieux adapter l'ouvrage aux contraintes de l'exploitation et de la construction.

Lorsque le personnel du maître d'ouvrage est responsable de la construction de la phase 2 du barrage de stériles, il est mis au courant de tous les détails concernant le projet du barrage et des raisons pour lesquelles ces détails ont été adoptés dans le projet.

Le personnel du maître d'ouvrage tient à jour des documents précis concernant tous les aspects de la construction, comprenant les lectures des appareils d'auscultation, les essais de contrôle de la qualité des matériaux utilisés dans la construction, la vitesse de montée du barrage, de sa plage amont et de la retenue, le taux de production des stériles et des photographies montrant l'avancement des travaux.

Une inspection spéciale a lieu après tous événements exceptionnels susceptibles de se produire pendant la construction, tels que crues importantes, séismes, incendies ou variations brutales des lectures des appareils.

#### **5.4. MAITRISE DE LA RIVIÈRE ET DÉRIVATION**

Les barrages de stériles ne doivent pas être situés sur des rivières importantes dont la dérivation constituerait une opération d'envergure. Dans les quelques cas où il en est ainsi, la conception de la dérivation doit suivre les recommandations du Bulletin 59 de la CIGB « Recommandations concernant la sécurité des barrages ».

Des canaux et ouvrages de dérivation sont souvent nécessaires pour dériver, autour de la retenue et jusqu'à l'aval du barrage, les eaux de ruissellement provenant du bassin versant. La conception de telles dérivations doit être basée sur les données hydrologiques disponibles, en tenant compte d'un risque acceptable de submersion compatible avec les hypothèses faites sur la capacité de la retenue nécessaire pour la maîtrise des crues de projet (voir aussi § 4.4.2.).

#### **5.5. PLANS D'ALERTE EN PHASE DE CONSTRUCTION**

Les plans d'alerte doivent traiter des points suivants :

- situations critiques possibles et sécurité du chantier;
- risques et situations critiques possibles se traduisant par une menace pour la sécurité des tiers par suite des travaux ou retards dans la construction;
- situations catastrophiques possibles dues à des catastrophes naturelles (cas de force majeure) (on devra tenir compte d'une destruction possible des accès routiers et/ou des lignes d'alimentation en énergie);
- des situations exceptionnelles possibles créées par des émeutes, sabotages ou autres actions criminelles.

Outre les instructions relatives aux actions d'urgence, le plan doit contenir une définition précise des procédures de décision à suivre pendant les situations critiques.



concepts may be made as advisable, to best suit operating and construction requirements.

Where the owner's staff are responsible for the ongoing construction of the Stage II tailings dam construction, they should be made fully aware of all design details of the tailings dam and the reasons for their incorporation in the design.

The owner's staff must keep accurate records of all aspects of construction including : readings of monitoring instruments, quality control tests of the dam building materials, rate of rise of dam, beach, and pond surface, tailings production rates, and progress photographs.

A special inspection should be carried out following unusual events that may occur during the construction phase such as large floods, earthquakes, fire or sudden changes of instrument readings.

#### **5.4. RIVER HANDLING AND DIVERSIONS**

Tailings dams should not be sited on major streams where river diversion becomes an important consideration. In those few instances where they are, the design of the required river diversion should follow the concepts outlined in ICOLD Bulletin 59, " Dam Safety Guidelines ".

Diversion ditches and related structures are often required to divert surface runoff, from the watershed contributing to the tailings pond, around the tailings pond and downstream of the tailings dam. The design of such tailings pond diversions should be based on available hydrology and some acceptable risk of being overtopped compatible with the assumptions made for the required storage capacity to handle the design floods. (See also Section 4.4.2.)

#### **5.5. CONSTRUCTION EMERGENCY PRECAUTIONS**

Emergency prevention planning should deal with :

- possible emergency situations and occupational safety at the construction site;
- possible hazard and emergency situations which may evolve as a threat to the safety of third parties owing to construction activities or delays;
- possible catastrophic situations caused by natural disasters (force majeure) (this should include possible loss of access road/or power);
- possible exceptional situations caused by riots, sabotage or other criminal action.

Besides instructions for emergency operations and actions, the plan should contain a clear definition of authority and decision-making procedures to be followed in emergency situations.

## **5.6. MODIFICATIONS OU RÉPARATIONS DES BARRAGES DE STÉRILES EXISTANTS**

Les grands chantiers pour l'agrandissement, la modification ou la séparation de barrages de stériles existants, nécessitant des moyens importants en matériel et en main-d'œuvre, sont soumis aux principes décrits dans les chapitres précédents concernant la construction des barrages de stériles nouveaux.

Un soin tout particulier est porté à la protection des ouvrages et dispositifs existants contre les risques et dégâts qui pourraient résulter des activités de construction, telles que tirs, fouilles, etc.

Si les travaux de réparation ont été nécessaires pour rétablir la sécurité d'exploitation, les travaux achevés sont réceptionnés par l'organisme de contrôle.

## **5.6. ALTERATIONS OR REPAIRS TO EXISTING TAILINGS DAMS**

Major construction activities for the enlargement, alteration or repair of existing tailings dams, requiring substantial equipment and manpower and resulting in extensive site operations, should be governed by the principles outlined in the foregoing chapters for the construction of new tailings dams.

Special care and precautions should be taken to protect existing structures and facilities from hazards and damage which may result from construction activities such as blasting, excavation, etc.

If the repair work has been necessary to restore operational safety, the completed work should be approved by the Regulatory Agency.

---

## 6. EXPLOITATION

---

### 6.1. EXPLOITATION DE LA RETENUE DE STÉRILES

Les stériles provenant des cyclones sont déversés à partir du parement amont du barrage, de manière à constituer une plage de stériles de faible perméabilité et de largeur uniforme tout le long du parement.

La retenue de stériles est exploitée de façon que la largeur de la plage entre l'eau à surface libre de la retenue et le parement amont du barrage soit maximale. Cette distance dépend de la topographie du site et de l'exploitation minière; une largeur minimale d'environ 100 m sera maintenue dans la mesure du possible.

Le barrage de stériles et sa plage amont constituée de stériles semi-imperméables sont montés suffisamment vite pour obtenir une revanche suffisante par rapport au niveau de l'eau dans la retenue, ceci au fur et à mesure du remplissage progressif de la retenue par les stériles.

Pour les barrages de stériles en « circuit fermé » où l'évacuation vers l'aval n'est pas permise, la retenue doit toujours avoir une revanche suffisante pour permettre le stockage de la crue de projet au-dessus du niveau normal de la retenue et ceci sans qu'il en résulte une submersion de la plage et la présence d'eau à surface libre au contact des sables du barrage de stériles.

Pour réduire le volume d'eau à stocker dans la retenue et, par suite, la vitesse de montée du barrage de stériles, la retenue et le système de récupération des eaux seront exploités de façon que :

- un volume maximal d'eau de ruissellement soit dérivé autour de la retenue;
- un volume maximal d'eau de la retenue soit récupéré pour réutilisation dans les opérations minières.

Pour les barrages importants de stériles dont la rupture entraînerait des dommages matériels et une pollution importants, ainsi que des pertes en vies humaines, la retenue de stériles est conçue de façon à maîtriser la PMF. Pour les barrages de stériles en circuit fermé, la retenue doit maîtriser la PMF en la stockant par surremplissage par rapport au niveau normal d'exploitation. Pour les autres barrages de stériles, la PMF peut être maîtrisée par une combinaison de stockage (amortissement) et évacuation vers l'aval.

La récupération de l'eau dans les retenues de stériles pour réutilisation dans l'exploitation peut être réalisée par des stations de pompage flottantes ou par des tours et tuyaux de décantation. Les stations de pompage flottantes constituent la meilleure méthode car elle n'implique pas la construction de hautes tours de décantation et de conduites traversant le barrage. La rupture des tours de décantation et/ou des circuits de décantation peut se traduire par le déversement, à l'aval, de stériles et d'effluents. A la limite, leur rupture peut entraîner celle du barrage. Cependant, les tours et conduites de décantation peuvent être nécessaires dans les régions où une alimentation en énergie n'est pas disponible de façon certaine.

---

## 6. OPERATION

---

### 6.1. TAILINGS POND OPERATION

The total tailings or overflow from cyclones should be discharged from the upstream face of the dam in such a manner that a low permeability tailings beach having a uniform width is maintained across the face of the dam.

The tailings pond should be operated in such a manner that a maximum width of beach is maintained between the free water in the pond and the upstream face of the tailings dam. This distance will vary depending on site topography and the particular mining operation, however a minimum width of beach of approximately 100 m should be maintained if possible.

The tailings dam and its semi-impervious tailings beach should be raised sufficiently fast to ensure that they stay a satisfactory distance above the elevation of the free water in the tailings pond, as the pond is slowly filled with tailings.

For closed circuit tailings dams, where downstream spillage is not allowed, the tailings pond should always have sufficient freeboard that the design flood can be stored as a surcharge on the normal tailings pond level without drowning the beach and placing free water against the sand tailings dam.

To minimize the volume of water that must be stored in the tailings pond and thereby minimize the rate at which the tailings dam must be raised, the tailings pond and reclaim water recovery system should be operated in such a way that :

- a maximum of surface runoff is diverted around the pond;
- a maximum of pond water is reclaimed for re-use in the mill operations.

For major tailings dams, where failure would cause extensive property damage and pollution, as well as loss of life, the tailings pond should be designed to handle the PMF. For “ closed circuit ” tailings dams the tailings pond must handle the PMF by storing it as a surcharge on top of the normal pond operating level. For other tailings dams the PMF must be handled by a combination of storage and spillway discharge.

Reclaim of water from the tailings pond for re-use in the mill should be achieved using either floating pumphouses or decant towers and pipelines. Floating pumphouses are the preferable method as they do not involve the construction of high decant towers and decant pipelines passing through the dam. Failure of decant towers and/or decant lines can cause tailings and effluent to be discharged downstream and in the extreme case, failure of decant systems can lead to failure of the tailings dam. However, decant towers and pipelines may be necessary in remote areas where an assured power supply is not available.

## **6.2. STABILITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES**

Le barrage de stériles et ses fondations et appuis à l'aval feront l'objet d'observations afin de détecter s'il existe des fissures, fuites, zones saturées ou humides, sources, dolines, zones de glissement, traces de renards, érosion, végétation excessive, soulèvement dû au gel, défaut d'alignement en crête, bourrelets ou creux sur les talus et risbermes.

Si l'examen visuel met en évidence une dégradation des matériaux, un comportement dangereux de l'ouvrage ou conduit à émettre des doutes sur la sécurité de l'ouvrage ou de son exploitation, on procède immédiatement à une reconnaissance plus en profondeur au moyen de sondages carottés, de puits d'observations, d'essais *in situ* non destructifs, etc.

Toutes les lectures des appareils de mesures et toutes les autres données d'auscultation sont examinées au moins une fois par an par un ingénieur spécialiste en projet de barrages de stériles pour s'assurer que le barrage se comporte tel que prévu au projet. Si possible, cette étude doit être effectuée par un ingénieur en chef du bureau d'études qui a établi le projet d'origine.

L'examen des dispositifs de drainage et de décharge des sous-pressions vise à déceler les obstructions, les détériorations ou les dégâts provoqués par l'action chimique ou bactériologique. La localisation exacte des zones de percolation et l'étude des débits et de la qualité des eaux (claires ou chargées) permettent la comparaison avec les observations antérieures et les résultats des calculs de percolation.

L'étude des débits de percolation et des débits des drains tiendra compte du niveau de la retenue de stockage des stériles. Tout changement anormal dans les débits de percolation sera immédiatement analysé.

Dans le cas où le barrage de stériles est soumis à un séisme, la magnitude et l'épicentre de ce séisme sont notés, de même que les effets observés sur le barrage, la retenue et tous les autres ouvrages.

## **6.3. AUSCULTATION ET INSPECTION**

On se reportera au chapitre 4.3. de ces recommandations pour une description précise des buts de l'auscultation.

Le projeteur participe aux inspections et aux évaluations de la sécurité. En cas d'impossibilité, il est informé de tous les résultats des inspections et évaluations de sécurité auxquelles il n'a pas été associé. De même, il est consulté, dans toute la mesure du possible, sur les travaux de réparation ou de restructuration tout au long de la vie du barrage de stériles et du réservoir.

Au moins tous les deux ans et suivant un programme prédéterminé, on vérifie si les appareils et dispositifs d'auscultation sont suffisants et fonctionnent bien.

La séquence et la fréquence des lectures des appareils de mesures et des dispositifs d'observations sont conformes aux instructions spécifiques établies par le projeteur. Ces instructions peuvent éventuellement être adaptées au changement de priorités liées à l'âge de l'ouvrage.

## **6.2. STRUCTURAL STABILITY OF TAILINGS DAM**

The tailings dam and the downstream foundations and abutments should be examined for cracks, leakage, saturated areas or wet spots, springs, sinkholes, slumping, evidence of piping, erosion, excessive growth of vegetation, frost heave, crest alignment, bulging or depression of slopes and berms.

If the visual examination reveals evidence of material deterioration or unsafe structural behaviour, or yields doubts about the structural and/or operational safety, a more in-depth investigation by core drilling, excavation of observation pits, non-destructive field testing and/or other appropriate methods should be initiated immediately.

All instrumentation readings and other monitoring data should be reviewed by a knowledgeable tailings dam design engineer on an annual basis to ensure that the tailings dam is performing as assumed for design. If possible this review should be made by a senior member of the original design firm.

Drainage systems and uplift pressure relief devices should be examined for possible obstruction, deterioration or damage by chemical reactions or bacterial growth. Sources of seepage should be pinpointed and flow rate and quality (clear or muddy water) should be investigated for comparison with previous observations and the results of seepage computations.

The examination of seepage volumes and the flow rate of drains should be related to the rising tailings pond level. Any anomalous changes in seepage volume should be investigated immediately.

In the event the tailings dam is exposed to an earthquake, the magnitude and epicentre of the earthquake should be noted, together with the observed effects of the earthquake on the dam, the tailings pond, and any other structures in the area.

## **6.3. MONITORING AND INSPECTION**

Reference Section 4.3. of these guidelines for a detailed outline of instrumentation and monitoring requirements.

The designer should participate in safety inspections and evaluations. If this should not be possible, he should be kept informed of the findings of all safety inspections and evaluations with which he has not been associated. Also, he should be consulted on repair or rehabilitation work, if possible and practicable, throughout the service life of the tailings dam and reservoir.

The adequacy and proper functioning of monitoring instruments and devices should be checked at least every two years in accordance with a predetermined schedule.

The sequence and frequency of the reading of monitoring instruments and observation devices should follow the specific instructions given by the designer. These instructions may eventually be adapted to priorities shifting with the age of the structure.

Les résultats des lectures des appareils de mesures et des dispositifs d'observations sont adressés immédiatement au centre de dépouillement. Le dépouillement et l'interprétation des résultats sont effectués sans délai. Les résultats des mesures et les autres informations sont soigneusement répertoriés et classés en vue de constituer des éléments de référence pour les inspections périodiques. L'équipe d'inspection est immédiatement informée de tout écart important par rapport aux observations antérieures ou aux prévisions de comportement de l'ouvrage.

Une inspection annuelle complète est effectuée et porte sur l'ensemble des dispositions de stockage, incluant le barrage, la retenue, le système de reprise et les méthodes de construction utilisées. En même temps que cette inspection annuelle, toutes les données concernant le comportement, les contrôles de qualité, la qualité de l'eau et l'auscultation sont examinées pour s'assurer que le barrage est construit et se comporte conformément aux intentions du projeteur.

Les débits de percolation collectés à partir des drains, puits de décharge et piézomètres situés à l'aval du barrage de stériles ont une importance particulière. Une analyse chimique et une détermination des métaux lourds dans les débits de fuite sont effectuées pour voir si des polluants s'échappent de la retenue et pénètrent dans la nappe ou les eaux de surface à l'aval du barrage.

L'analyse des rapports des inspections antérieures et la définition du programme à suivre précèdent chaque inspection. A cette fin, il est souhaitable d'établir une fiche détaillée mentionnant tous les points à inspecter et les essais ou examens à effectuer dans chaque cas. Cette fiche est soigneusement revue et mise à jour avant chaque inspection importante, en portant une attention spéciale aux incidents, modifications ou changements de fonctionnement intervenus depuis l'inspection précédente. L'équipe d'inspection vérifie la mise en application des recommandations antérieures. Si ces recommandations n'ont pas été prises en compte, les raisons en sont données et consignées dans le rapport d'inspection.

La description des méthodes et procédures utilisées pour l'inspection, ainsi que les résultats obtenus et les recommandations qui en découlent, sont résumés dans le rapport d'inspection. Selon le cas, la pièce écrite est complétée par des plans, croquis ou graphiques, avec une large utilisation de documents photographiques. Le rapport présente la description des accidents et incidents, avec une analyse de leurs causes et de leurs conséquences. Les anomalies constatées sont relevées pour servir de références aux comparaisons futures. Si des réparations sont jugées nécessaires, celles-ci sont proposées au moyen de recommandations claires. Le rapport est établi immédiatement à la fin de l'inspection et diffusé sans délai.

## **6.4. PROBLÈMES POSÉS PAR L'EXPLOITATION**

### **6.4.1. Généralités**

Pour tous les barrages de stériles importants, les deux principaux problèmes à examiner concernent l'eau et les séismes.

Les problèmes principaux concernant l'eau, qui seront étudiés et contrôlés tout au long de l'exploitation d'un barrage de stériles, sont :



The readings of monitoring instruments and observation devices should be immediately transmitted to the processing unit. Processing and interpretation of processed data should be done without delay. Data and information should be carefully identified and filed for appraisal and reference during the periodic inspections. Any substantial deviation from previous observations or the anticipated behaviour of the structure should be brought immediately to the attention of the inspection team.

A complete annual inspection should be made of all aspects of the tailings storage facilities including the dam, the pond, the reclaim system, and the construction procedures being used. In conjunction with this annual inspection, all performance, quality control, water quality and monitoring data should be reviewed to ensure that the tailings dam is being constructed and is performing in accordance with the designer's intent.

Of particular importance is seepage water collected from drains, relief wells, and piezometers located downstream of the tailings dam. These seepages should be analyzed for chemical content, heavy metals, etc., to determine if pollutants are escaping the tailings pond and entering the ground and surface waters downstream of the tailings dam.

Every inspection should be preceded by the appraisal of previous inspection reports, and the determination of the sequence to be followed in the field. For this purpose it would be advisable to prepare a detailed checklist including all items to be inspected and setting out the testing or examination that each item should undergo. The checklist should be carefully reviewed and updated before every major inspection, with special attention to incidents, alterations and/or operational modifications that may have occurred since the last inspection. The inspection team should check to see whether previous recommendations have been carried out. If this has not been done, the reasons should be documented and recorded in the inspection report.

A description of the methods and procedures employed for inspection and the findings and resulting recommendations should be summarized in the inspection report. Wherever suitable, the text should be complemented by drawings, sketches or graphs, and photographic documentation should be used extensively. Records of incidents or accidents that may have occurred recently should be enclosed and an analysis of their causes and consequences included in the report. Detected irregularities should be mapped for future reference and comparison. If any remedial actions are deemed necessary, they should be proposed by clear recommendations. The report should be prepared immediately after finishing the inspection and issued without delay.

## **6.4. OPERATING PROBLEMS**

### **6.4.1. General**

Water-related problems and earthquakes are the two major concerns that must be addressed for all major tailings dams.

The basic water-related problems that must be considered and controlled throughout the operating life of a tailings dam are :

- le déversement sur le barrage provoqué par une élévation non maîtrisée du niveau de l'eau à surface libre dans la retenue;
- les débits de percolation importants à travers le barrage, sa fondation ou ses appuis, dus à des causes telles que : submersion de la plage de stériles semi-imperméables, système de drainage interne ou puits de décharge mal conçus ou inefficaces, zones étanches et/ou coupures inadéquates, etc.;
- renards qui peuvent se produire lorsque des débits de percolation localisés entraînent des particules fines ou lorsque des filtres mal conçus ont été mis en place sur des zones d'enrochements ou des drains;
- instabilités de pente et soulèvements qui peuvent se produire lorsque se développent des surpressions interstitielles trop importantes dues aux forces de percolation.

Les principaux problèmes sismiques à considérer pendant la période d'exploitation d'un barrage de stériles sont :

- la liquéfaction des stériles saturés et de faible compacité dans la retenue, entraînant une charge additionnelle sur le barrage;
- la perte de résistance pendant un séisme due à l'accroissement des pressions interstitielles dans le barrage de stériles lui-même (à la limite, si le barrage est dans un état lâche et saturé, sa liquéfaction pourrait se produire);
- les forces d'inertie dues au séisme, qui agissent sur le barrage et ses ouvrages annexes pendant le séisme.

#### **6.4.2. Problèmes relatifs à l'eau**

Le déversement sur le barrage de stériles doit être évité, quel qu'en soit le coût, car il se traduirait par une rupture catastrophique avec départ brutal de grandes quantités de stériles toxiques et d'eau.

Pour minimiser la possibilité d'un déversement, les précautions suivantes sont prises pendant l'exploitation du barrage de stériles :

- une quantité minimale d'eau à surface libre est stockée dans la retenue;
- une plage aussi large que possible est maintenue à l'amont du barrage de stériles;
- une fraction aussi importante que possible de l'eau de ruissellement du bassin est dérivée autour de la retenue;
- pour le stockage de stériles en « circuit fermé », la retenue présentera toujours une revanche suffisante pour que la PMF (correspondant au plus grand bassin versant si des dérivations ne sont pas prévues pour maîtriser la PMF) puisse être stockée par surremplissage par rapport au niveau normal d'exploitation de la retenue sans entraîner de submersion de la plage de stériles et sans amener d'eau à surface libre au contact du barrage de stériles en sable;
- lorsque l'évacuation d'effluents est autorisée pendant les périodes de forts débits, on prévoit un évacuateur de crue adéquat pour maîtriser la crue de projet. Un tel ouvrage ne devant évacuer que la crue écrêtée, sa capacité peut être considérablement plus faible que celle nécessaire pour évacuer la PMF de projet.

Les débits de percolation et les pressions interstitielles sont maintenus aussi faibles que possible en réalisant une large plage de stériles et en conservant l'eau à surface libre de la retenue aussi loin que possible du barrage.

- overtopping caused by an uncontrolled rise in the level of the free water in the tailings pond;
- excess seepage flows through the dam, its foundations or abutments, caused by such items as : drowning of the semi-impervious tailings beach, inadequate or inoperative internal drainage systems and relief wells, inadequate impervious zones and/or cutoffs, etc.;
- piping, which may occur when exiting concentrated seepage flows remove fine particles or when inadequate filters are provided over rockfill zones or drains;
- slope instability and heaving which may occur when excess hydrostatic pressures, due to seepage forces, develop.

The basic earthquake problems that must be considered during the operating life of a tailings dam are :

- liquefaction of the loose, saturated tailings in the tailings pond which adds load to the tailings dam;
- loss of strength during an earthquake owing to the build-up of excess pore water pressures in the tailings dam proper (in the extreme, if the tailings dam was loose and saturated, liquefaction could occur);
- the inertial earthquake forces that act on the tailings dam and appurtenant structures during the earthquake.

#### **6.4.2. Water-Related Problems**

Overtopping of a tailings dam must be prevented at all costs as it would result in a catastrophic failure with the sudden release of large volumes of toxic tailings and water.

To minimize the possibility of overtopping, the following precautions should be observed during the operation of a tailings dam :

- a minimum of free water should be stored in the tailings pond;
- as wide a beach as possible should be maintained upstream of the tailings dam;
- the maximum feasible amount of runoff contributing to the tailings pond should be diverted around the pond;
- for “ closed circuit ” tailings operations, the pond should always have sufficient freeboard that the PMF (for the maximum catchment if diversions not designed to handle the PMF) can be stored as a surcharge on top of the normal operating level of the pond without drowning the tailings beach and placing free water against the sand tailings dam :

- where discharge of tailings effluent is allowed during high runoff periods, an adequate spillway to handle the design flows must be provided. As such a spillway must only handle the surplus flows that cannot be safely stored in the tailings pond, its capacity can be considerably less than that required to handle the design PMF.

Seepage flows and piezometric pressures should be minimized by maintaining a wide tailings beach and keeping the free water in the tailings pond as far from the tailings dam as possible.

Si des débits de percolation importants ou des pressions interstitielles élevées se développent dans le barrage de stériles, sa fondation et ses appuis, ceux-ci sont soigneusement suivis et les zones critiques sont traitées en utilisant les méthodes classiques, telles que filtres, drains, et, dans le cas de fondations ou appuis perméables, injections éventuelles.

S'il n'est pas possible de maintenir le barrage de stériles et sa plage amont à un niveau suffisant au-dessus de la retenue pour fournir la capacité de stockage supplémentaire sans submersion de la plage et présence d'eau à surface libre contre le barrage, on prévoit une zone imperméable pour le parement amont du barrage, ceci afin de limiter les pertes par percolation et les risques de renard inhérents.

L'exploitant du barrage de stériles maintient des stocks ou des dépôts, facilement accessibles, de matériaux filtrants pour permettre un traitement d'urgence en cas de débits de percolation trop élevés; il maintient également des stocks de matériaux imperméables pour permettre une construction d'urgence d'une zone amont imperméable.

Même dans le cas des barrages de stériles en « circuit fermé », des mesures sont prises pour permettre une évacuation d'urgence si celle-ci se révèle nécessaire quelles que soient les combinaisons de circonstances. La meilleure disposition est un déversoir à seuil libre fondé au rocher, de telle sorte qu'une évacuation d'urgence puisse être faite sans entraîner de problèmes d'instabilité liés à l'érosion. Lorsqu'il n'existe pas de rocher, l'évacuateur de secours sera conçu de telle manière qu'il ne se produise pas d'érosion excessive susceptible de menacer le barrage. Si le volume d'eau à évacuer est faible, des siphons ou des pompes peuvent être utilisés.

#### **6.4.3. Problèmes sismiques**

Les barrages de stériles importants situés dans des zones sismiquement actives, dont la rupture entraînerait des menaces à l'aval, sont conçus pour supporter le MCE (le plus grand séisme possible) de la région. Pour les barrages de stériles en zone sismique, les points importants du projet sont : le contrôle de la compacité des matériaux utilisés pour construire le barrage de stériles, le contrôle de la position de la ligne de saturation et, par suite, de la zone saturée du barrage de stériles, le contrôle de la pente du talus aval et, par conséquent, des contraintes de cisaillement dans le barrage de stériles.

Les exploitants suivront les consignes du projeteur concernant la compacité, la position de la ligne de saturation et la géométrie afin que le barrage de stériles satisfasse aux critères de projet relatifs à la sécurité vis-à-vis de la rupture sous le séisme de projet. Les instructions concernant les appareils de mesures et l'auscultation, qui doivent être appliquées pour s'assurer que les recommandations du projeteur sont suivies, sont exposées aux chapitres 3.3, 4.3 et 6.3 des présentes recommandations.

La détermination du séisme de projet ainsi que l'analyse des effets de ce séisme sur le barrage de stériles ne relèvent pas actuellement de sciences exactes. En conséquence, même en supposant que l'exploitant du barrage de stériles satisfait aux conditions décrites au chapitre 6.4.3. ci-dessus, il est recommandé que dans les zones de très forte sismicité, la retenue de stériles soit exploitée de telle manière que le niveau de l'eau à surface libre dans la retenue soit maintenu aussi bas que possible et à une distance aussi grande que possible du parement amont du barrage. La

Should excess seepage flows and/or piezometric pressures develop in the tailings dam and its foundations and abutments, they should be carefully monitored and problem areas treated using conventional procedures such as filters, drains, and in the case of pervious foundations or abutments, possibly grouting.

In the event that it is not possible to keep the tailings dam and upstream tailings beach a sufficient distance above the pond to provide the required surcharge storage without flooding the beach and placing free water against the tailings dam, an impervious zone must be provided for the upstream face of the dam to prevent high seepage losses with the inherent threat of piping.

Stockpiles or readily accessible supplies of filter materials for emergency treating of excess seepage flows and impervious material for emergency construction of upstream impervious zones should be maintained by the operator of the tailings dam.

Even for "closed circuit" tailings dams, provisions must be made for emergency spillage, should it become necessary for whatever combination of circumstances. The preferable arrangement is an uncontrolled overflow spillway in bedrock so that emergency discharges can be made without creating instability problems due to scour. Where bedrock is not available, the emergency spillway should be designed in such a manner that excessive scour will not occur and threaten the tailings dam. In those instances where the volume of water to be handled is small, siphons or pumps could be used to spill excess water from the tailings pond.

#### **6.4.3. Earthquake-Related Problems**

Major tailings dams located in active seismic zones, where failure would pose a downstream threat, should be designed to withstand the MCE for the region. The major design features for tailings dams in seismic areas involve : controlling the density of the materials used to construct the tailings dam, controlling the location of the phreatic line and therefore the saturation of the tailings dam, and controlling the downstream slope and therefore the shearing stresses in the tailings dam.

The operators must meet the designer's requirements for density, phreatic line location, and geometry, in order for the tailings dam to satisfy the design criteria for safety against failure under the design earthquake. The instrumentation and monitoring requirements that must be carried out to ensure that the designer's requirements are met are outlined in Sections 3.3, 4.3, and 6.3 of these guidelines.

Both earthquake prediction and the analysis of the effects of the predicted earthquake on a tailings dam are not exact sciences at this time. Consequently, even assuming that the operator of the tailings dam satisfies the conditions outlined in section 6.4.3. above, it is recommended that in areas of very high seismic activity, the tailings pond should be operated in such a manner that the free water in the pond is kept both to a minimum and as far away as possible from the upstream face of the dam. The failure of a tailings impoundment that passes through the tailings

rupture d'un ouvrage de stockage de stériles suivant une surface traversant la plage de stériles mais n'atteignant pas l'eau à surface libre dans la retenue, bien que constituant un événement extrêmement sérieux, a peu de chance de provoquer des dommages catastrophiques tels que ceux dus à une rupture se propageant jusqu'à une retenue d'eau étendue et profonde.

## **6.5. PLANS D'ALERTE**

Un plan d'alerte est établi pour les barrages de stériles les plus importants situés au-dessus de zones habitées. La plan d'alerte traitera des points tels que :

- observations hydrographiques et relevés de stocks de neige;
- moyens d'urgence pour abaisser l'eau à surface libre dans la retenue de stériles;
- cartes des zones d'inondation correspondant aux conditions catastrophiques causées par la rupture du barrage de stériles;
- plan d'évacuation des zones menacées par l'écoulement de stériles et d'eau;
- avis d'alerte;
- communications de secours;
- transports de secours;
- procédures de décisions en cas d'urgence.

beach but does not reach the free water in the tailings pond, although extremely serious, is unlikely to cause the catastrophic damage that would result from the failure of a tailings dam that breached a large, deep pond of free water.

## **6.5. EMERGENCY PLANNING**

An emergency plan should be established for major tailings dams located above inhabited areas. The emergency plan should address such matters as :

- hydrographic and snow pack observations;
- emergency means of lowering the free water in the tailings pond;
  
- inundation maps for the catastrophic conditions caused by failure of the tailings dam;
- evacuation of areas threatened by the flow of tailings and water;
- emergency warnings;
- emergency communications;
- emergency transportation;
- emergency decision-making processes and procedures.

---

## 7. RESTRUCTURATION

---

### 7.1. MISE AU POINT DES PLANS DÉFINITIFS DE RESTRUCTURATION

La restructuration d'un ouvrage de stériles est un problème spécifique au site qui dépend de facteurs tels que :

- aspects physiques du site (topographie, dimensions du bassin versant, conditions climatiques, propriétés géotechniques, sismicité, etc.);
- dispositions générales de l'aménagement (hauteur du barrage, géométrie du barrage, dérivation, évacuateur de crue, etc.);
- nature des stériles stockés derrière le barrage (toxicité, finesse, activité chimique, etc.).

Pour obtenir l'efficacité et l'économie maximales, les plans de restructuration seront pris en compte dans les phases initiales du choix de l'aménagement de stockage de stériles correspondant à une nouvelle opération minière. Ceci permet la mise au point de dispositifs de manutention des stériles qui sont plus à même de pouvoir être restructurés en fin d'exploitation minière.

Le plan de restructuration traitera tous les aspects du problème, à court terme comme à long terme. Un tel plan comprend :

- une description détaillée de l'état effectif du barrage de stériles et de la retenue;
- les grandes lignes, étape par étape, des plans prévus pour transformer le barrage de stériles et la retenue jusqu'à son état après restructuration;
- les mesures proposées pour contrôler : les poussières, l'érosion due à l'eau et la contamination des eaux de surface et souterraines;
- une description détaillée du système de surveillance nécessaire pour suivre le comportement de l'aménagement de stériles une fois restructuré, à court terme comme à long terme.

### 7.2. APPROBATION DES PLANS DE RESTRUCTURATION

Avant la fermeture d'un ouvrage de stockage de stériles, le maître d'ouvrage prépare un plan définitif de restructuration et le soumet à l'organisme de contrôle pour approbation. Ce plan doit être comparé avec le plan initial de restructuration qui avait été soumis à l'organisme de contrôle pour approbation au début des opérations minières. Les changements proposés par rapport au plan initial doivent être expliqués et justifiés par des documents.

Le plan définitif de restructuration prendra en considération à la fois les événements extrêmes qui peuvent se produire à court terme tels que : séisme, période de sécheresse, crue, de même que les problèmes à long terme résultant de facteurs tels que : érosion due au vent et à l'eau, stabilité des pentes, sédimentation dans les



---

## 7. REHABILITATION

---

### 7.1. DEVELOPMENT OF FINAL REHABILITATION PLANS

Rehabilitation of a tailings facility is a site specific problem that depends on such factors as :

- physical features of site (topography, size of watershed, climatic conditions, geotechnical properties, seismicity, etc.);
- layout of tailings facility (height of dam, geometry of dam, diversions, spillways, etc.);
- nature of tailings stored behind the dam (toxicity, fineness, chemical activity, etc.).

To achieve maximum effectiveness and economy, rehabilitation plans should be considered in the initial phases of selecting the tailings storage facilities for a new mining operation. This permits development of tailings handling facilities that are more amenable to rehabilitation at the end of the mining operation.

The rehabilitation plan must address all aspects of the problem, both long and short term. Such a plan should include :

- detailed description of the current state of the tailings dam and pond;
- stage by stage outline of plans to convert the current tailings dam and pond into rehabilitated condition;
- measures proposed to control : dust, water erosion, and contamination of surface and subsurface waters;
- detailed description of the surveillance system required to monitor the performance of the rehabilitated tailings facility over both the short and long term period.

### 7.2. APPROVAL OF REHABILITATION PLANS

Prior to the closure of an operating tailings storage facility, the owner should prepare a final rehabilitation plan and submit it to the Regulatory Agency for approval. The final plan should be compared with the original rehabilitation plan that was submitted to the Regulatory Agency for approval at the start of the mining operations. Proposed changes to the original plan should be explained and documented.

The final rehabilitation plan should address both extreme events, that may occur over the short-term, such as earthquakes, droughts, and floods, as well as long-term concerns relating to such factors as : wind and water erosion, slope

retenues et dérivations, altération, lessivage, réaction chimique, nuisance due aux animaux et pénétration par les plantes et les arbres.

Un plan à long terme couvrant la surveillance et l'entretien de l'aménagement restructuré, jusqu'à une date où n'existe plus de danger de fuite dans l'environnement de matériaux toxiques provenant du barrage et de la retenue de stériles, sera agréé par le maître d'ouvrage et l'organisme de contrôle. Cet agrément doit couvrir le financement du plan à long terme.

### **7.3. MISE EN APPLICATION DES PLANS DE RESTRUCTURATION**

Le plan de restructuration est mis en application dès son approbation par l'organisme de contrôle et l'arrêt de l'exploitation minière.

stability, sedimentation of ponds and diversions, weathering, leaching, chemical reactions, animal disturbance, and penetration by plants and trees.

A long-term plan, covering the monitoring and maintenance of the rehabilitation scheme until such time as all danger of release of toxic materials from the tailings dam and pond into the surrounding environment has ceased, should be mutually agreed to by the owner and the Regulatory Agency. The agreement should cover financing of the long-term plan.

### **7.3. IMPLEMENTATION OF REHABILITATION PLANS**

The rehabilitation plan should be implemented as soon as its approval is received from the Regulatory Agency and the mining operation is shut down.

---

## 8. GLOSSAIRE

---

Tout au long du texte de ces recommandations, un certain nombre de termes et d'expressions doivent être compris tels que définis dans ce chapitre. Les termes non mentionnés ci-après sont utilisés conformément à leur définition donnée dans le Bulletin n° 31a 1982 de la CIGB : « Glossaire des termes relatifs aux barrages ».

**Autorités de contrôle** : Ministère, département, bureau ou tout autre service gouvernemental chargé, par une loi ou un acte administratif, de la responsabilité du contrôle général de la sécurité aux stades du projet, de la construction, de l'exploitation et de la restructuration des barrages et retenues de stériles. Dans les pays où la sécurité des barrages de stériles est sous la juridiction d'états (ou de provinces) et non du gouvernement central, le terme autorités de contrôle s'applique au service de l'état (ou de la province) responsable de la sécurité du barrage.

**Barrage de collecte des eaux de fuite** : Barrage de faible importance permettant de retenir l'eau et situé à l'aval du barrage de stériles, dont le but est d'intercepter, de collecter et de renvoyer à la retenue de stériles toutes les eaux de surface ou souterraines ayant contourné le barrage principal.

**Bassin versant** : Bassin drainant naturellement les eaux de ruissellement jusqu'à la retenue de stériles.

**Bateau pompe** : Ponton qui flotte sur la retenue de stériles et sur lequel sont montées les pompes permettant d'extraire l'eau libre de la retenue en vue de sa réutilisation dans le cycle de traitement.

**Bilan hydraulique** : Méthode où l'on détermine toute l'eau entrant dans la retenue, toute l'eau quittant la retenue et toutes les pertes d'eau, de telle façon que le gain ou la perte nette d'eau dans la retenue de stériles puisse être précisé.

**Boues** : Portion fine des stériles. La granulométrie des boues varie en général d'une dimension maximale d'environ 75 microns à la dimension des particules d'argile. Les particules les plus grossières des boues se déposent généralement sur la plage formée par les dépôts, alors que les éléments les plus fins se sédimentent dans la retenue.

**Code de sécurité** : Recueil unifié de tous les règlements et prescriptions légales relatifs à la sécurité, s'appliquant à la conception, la construction, l'exploitation et la restructuration des barrages et retenues de stériles, ou code des critères de sécurité recommandé aux Maîtres d'ouvrages ou volontairement adopté par ceux-ci.

**Conduite de transport des stériles** : Tuyaux utilisés pour transporter les stériles de l'usine jusqu'à la retenue.

**Construction suivant la méthode de l'axe central** : Elle constitue un cas particulier de la méthode aval de construction dans laquelle, lorsque le barrage monte, l'axe du barrage reste fixe au lieu de se déplacer vers l'aval.

- Crue maximale probable (PMF en anglais) :** Crue déduite de la combinaison de la précipitation maximale probable avec les conditions de ruissellement les plus défavorables, et qui est utilisée pour établir l'hydrogramme de la crue de projet.
- Cyclone (hydro-cyclone) :** Matériel dans lequel on introduit la totalité des stériles et qui, utilisant le principe de la force centrifuge, sépare les fines (boues) des matériaux de la fraction sableuse. Les cyclones sont souvent utilisés pour produire, à partir des stériles, le sable de construction du barrage de stériles.
- Débit de fond :** Sable qui sort de la base du cyclone.
- Débit suspendu :** Fines (boues) des stériles qui sortent de la partie supérieure du cyclone lorsqu'il est utilisé pour traiter la totalité des stériles.
- Déchargement ou déversement d'extrémité :** Déversement, dans la retenue, du débit total de stériles, ou du moins d'une large fraction, à partir d'un seul tuyau de grand diamètre.
- Dérivations :** Pour les retenues de stériles, les dérivations sont généralement des fossés d'importance relativement faible, qui collectent les eaux de ruissellement du bassin versant et les conduisent à l'aval au-delà du barrage et de la retenue de stériles.
- Eau de récupération :** Eau reprise dans la retenue de stériles pour réutilisation dans l'usine de traitement.
- Entrepreneur :** Société, organisation ou membre d'un groupement, responsable de la construction de la phase 1 d'un barrage et d'une retenue de stériles.
- État de la technique :** Niveau actuellement atteint par le développement technologique.
- Exploitant :** Personne, société ou entité qui est responsable du contrôle, de l'exploitation et de l'entretien du barrage de stériles et de ses ouvrages annexes.
- Généraliste :** Dans le contexte de ce document, un généraliste est l'ingénieur qui est familier avec tous les aspects concernés par le projet, la construction et l'exploitation d'un barrage de stériles, par opposition à l'ingénieur spécialisé dans un domaine particulier, tel que par exemple le domaine de la géotechnique.
- Ingénieur-conseil indépendant :** Personne ou organisation dont les services sont retenus par les autorités de contrôle, le maître d'ouvrage, l'exploitant, le projeteur ou l'entrepreneur pour donner un avis sur des problèmes ou questions spécifiques.
- Liquéfaction :** Phénomène qui se produit dans les sols saturés, lâches, lorsque la suppression de l'eau interstitielle, induite par un séisme, devient égale à la contrainte initiale de consolidation. Le sol se comporte alors comme un fluide dense, incapable de résister à des contraintes de cisaillement quelque peu importantes.
- Maître d'ouvrage :** Personne, société ou entité qui détient le titre légal de propriété du site du barrage et des ouvrages annexes.
- Métaux lourds :** Les métaux lourds, généralement associés aux stériles de mines, comprennent le cadmium, le cuivre, le fer, le plomb, le mercure, le molybdène,

le zinc, etc. Bien que ces métaux puissent se déposer dans la retenue sous forme de précipités insolubles, ils peuvent, par suite d'un changement de l'acidité, devenir solubles et provoquer ainsi des problèmes potentiels pour l'environnement.

**Méthode amont de construction** : Toute méthode de construction où la phase 2 (construction du barrage de stériles) est exécutée en direction de l'amont au-dessus des stériles préalablement déposés.

**Méthode aval de construction** : La méthode aval de construction des barrages de stériles implique la construction de la phase 2 du barrage en aval du barrage d'amorce de la phase 1. En conséquence, le barrage n'est pas construit au-dessus des stériles préalablement déposés.

**Méthode semi-aérienne de mise en dépôt** : Expression utilisée ordinairement en Amérique du Nord pour désigner une méthode de « spigotage » mettant en œuvre des rampes de pulvérisation pour placer des couches minces de stériles sur une plage précédemment déposée.

**Modification** : Tout changement par rapport au projet initial qui entraîne ou entraînera des modifications de structure.

**Ouvrages annexes** : Tous ouvrages, éléments constitutifs et dispositifs liés, par leurs fonctions, au barrage de stériles, incluant — liste non exhaustive — les évacuateurs de crue, les tours et tuyaux de décantation, les pompes de reprise, les conduites d'eau, les ouvrages de dérivation, etc.

**Phase à long terme** : Période de temps nécessaire, après la fin de la phase de restructuration, pour que les stériles deviennent suffisamment inertes pour ne plus poser de problèmes d'environnement.

**Phase de restructuration** : La phase qui dans la vie du barrage et de la retenue de stériles commence avec la fermeture des opérations minières et continue jusqu'à ce que la toxicité de tous les contaminants évacués approche son taux naturel antérieur ou un taux acceptable pour l'environnement.

**Projeteur** : Organisme responsable et effectivement mandaté pour établir le projet du barrage et de la retenue de stériles.

**Remblai d'amorce** : Barrage initial de stériles (étape 1) qui est construit avant que l'exploitation de la mine commence et qui constitue le point de départ pour la construction du barrage principal de stériles.

**Réparations** : Opération destinée à réparer un barrage ou une retenue de stériles endommagé, détérioré ou, pour toute autre raison, non stable, de façon à le rendre sûr et exploitable. Cette opération comprend les études, la réalisation des travaux de confortement et les essais de réception.

**Retenue de stériles** : Retenue créée par la construction du barrage de stériles. Elle contient principalement des stériles ainsi qu'une quantité variable d'eau libre.

**Sable de stériles** : Sables obtenus à partir des stériles complets et destinés à être utilisés dans la construction du barrage de stériles. Ils sont généralement produits par cyclonage des stériles complets.

**Séisme maximal possible (MCE en anglais) :** Séisme hypothétique qui, en fonction des sources potentielles régionales et locales d'événements sismiques, pourrait se produire et entraînerait sur le site le plus sévère mouvement vibratoire du sol.

**Spigotage :** Procédé où les stériles sont déversés dans la retenue au moyen d'une série de petits robinets (ou spigots). Le spigotage entraîne une distribution relativement régulière des stériles sur la plage de dépôts constituant la zone amont semi-perméable des barrages de stériles.

**Submersion de la plage :** Montée rapide de l'eau libre dans la retenue de stériles, qui recouvre la plage amont semi-perméable du barrage et se traduit par la présence d'un plan d'eau à surface libre le long du parement du barrage de stériles.

**Système de récupération :** Éléments constituant le système mis en place pour récupérer l'eau de la retenue et la renvoyer à l'usine, et pouvant comprendre : bateau-pompe, tuyaux de récupération, tour de décantation, tuyau de décantation, etc.

**Tour de décantation :** Ouvrage de prise surélevée au fur et à mesure de la montée de la retenue. La tour de décantation recueille de l'eau claire à la surface de la retenue de stériles et permet de l'envoyer à l'extérieur au moyen des tuyaux de décantation.

**Tuyaux de décantation :** Tuyaux qui amènent, à travers le barrage et jusqu'à un point de collecte situé à l'aval, l'eau décantée provenant de la retenue de stériles.

**Tuyaux de récupération :** Tuyaux utilisés pour acheminer, de la retenue à l'usine de traitement, l'eau récupérée.

---

## 8. GLOSSARY

---

Throughout the text of the present guidelines, the following terms and expressions are to be understood as defined in this chapter. Terms not mentioned herein are used according to their definition given in the ICOLD Bulletin 31a - 1982 : A Glossary of Words and Phrases related to Dams.

**Alteration** : Any deviation from the original design that results or will result in structural modifications.

**Appurtenant Works** : All structures, components and facilities functionally pertaining to the tailings dam, including, but not limited to, spillways, decant towers and pipelines, reclaim pumps, water conduits, diversion structures, etc.

**Centreline Method of Construction** : This is a special case of the downstream method of construction whereby the centreline of the dam remains fixed as the dam is raised rather than moving downstream.

**Contractor** : The company, organization or unit responsible for the construction of the Stage I tailings dam and/or pond.

**Contributing Watershed** : The drainage basin that contributes runoff to the tailings pond.

**Cyclone (Hydrocyclone)** : A device which accepts the total tailings slurry as feed and, utilizing the principle of centrifugal force, separates the sand sizes from the fine sizes (slimes). Cyclones are commonly used to produce sand from the total tailings, for tailings dam construction.

**Designer** : The organization responsible for, and actually entrusted with, the design of the tailings dam and/or pond.

**Decant Lines** : The pipelines that carry water decanted from the tailings pond through the tailings dam to a downstream collection point.

**Decant Towers** : Intake structures that are raised as the tailings pond rises. The decant towers skim off the clear water from the surface of the tailings pond and carry it away, using decant lines.

**Diversions** : For tailings ponds, diversions are usually relatively small interceptor ditches that collect runoff from the contributing watershed and divert it downstream beyond the tailings pond and dam.

**Downstream Method of Construction** : The downstream method of tailings dam construction involves constructing the ongoing Stage II portion of the tailings dam in a downstream direction from the initial Stage I starter dam and consequently it is not constructed over previously deposited tailings.

**End Dumping or Spilling** : Discharging the total tailings flow, or a large portion of the total tailings flow, into the tailings pond through a single, large diameter pipe.



- Drowning the Beach** : The rapid rising of the free water in the tailings pond which covers or floods the semi-pervious upstream beach of the tailings dam and results in a free water surface against the tailings dam.
- Generalist** : In the context of this document a generalist is an engineer who is familiar with all aspects of tailings dam design, construction, and operation, as opposed to an engineer specializing in one aspect such as geotechnical considerations.
- Heavy Metals** : The heavy metals usually associated with mine tailings include Cadmium, Copper, Iron, Lead, Mercury, Molybdenum, Zinc, etc. Although these metals may originally enter the pond as insoluble precipitates, they may, with changes in the acidity of the pond, become soluble and pose a potential environmental problem.
- Independent Consultant** : A person or organization whose services are retained by the Regulatory Agency, the owner, the operator, the designer or the contractor, for advice as to specific questions or problems.
- Liquefaction** : The phenomenon that occurs in loose saturated soils when the excess pore water pressure caused by an earthquake becomes equal to the original confining pressure, and the soil behaves like a dense fluid, unable to resist significant shear stresses.
- Long-Term Phase** : The period of time required, after the end of the rehabilitation Phase, for the tailings to become sufficiently inert that they no longer pose any problems to the environment.
- Maximum Credible Earthquake (MCE)** : The hypothetical earthquake that could be expected from the regional and local potential sources for seismic events and that would produce the severest vibratory ground motion at the site.
- Operator** : The person, company, or entity that is responsible for the control, operation, and maintenance of the tailings dam and/or related facilities.
- Overflow** : The fine tailings (slimes) that are discharged from the top of a cyclone when it is used for classifying the total tailings.
- Owner** : The person, company, or entity that retains the legal property title for the tailings damsite and related facilities.
- Probable Maximum Flood (PMF)** : The flood derived from the combination of the maximum probable precipitation with the most unfavourable runoff conditions and is to be used to produce the design flood hydrograph.
- Pump Barge** : A barge that floats in the tailings pond and supports the pumps that are used to reclaim the free water in the pond for re-use in the mill.
- Reclaim Lines** : The pipelines that are used to convey the reclaimed water from the tailings pond to the mill.
- Reclaim System** : The several components comprising the system constructed to reclaim water from the tailings pond and deliver it to the mill. May include such items as : pump barges, reclaim lines, decant towers, and decant lines.
- Reclaim Water** : The water recovered from the tailings pond for re-use in the mill.
-

**Rehabilitation Phase** : That phase in the life of a tailings dam and impoundment, starting with the closure of the mining operation, and continuing until the toxicity of any contaminants released approaches the natural background level or otherwise environmentally acceptable levels.

**Regulatory Agency** : Ministry, department, office or any other unit of the government entrusted by law or administrative act with the responsibility for the general supervision of the safe design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams and tailings ponds. In countries in which tailings dam safety is under the jurisdiction of States (or Provinces), and not the Federal administration, the term Regulatory Agency applies analogously to the unit of the state (or provincial) government responsible for dam safety.

**Repair** : The act of restoring a damaged, deteriorating or otherwise unsafe tailings dam or pond to safe structural and/or operational conditions, including engineering, execution of remedial construction work, and performance testing.

**Safety Code** : The consolidated compilation of all safety-related legal requirements and regulations referring to the design, construction, operation, and rehabilitation of tailings dams and ponds; or, alternatively, a code of safety criteria recommended to, or voluntarily adopted by, tailings dam owners.

**Seepage Recovery Dam** : A small, water retention dam located downstream of the tailings dam, whose purpose is to intercept, collect, and return to the tailings pond all surface and subsurface seepage flows that by-pass the main tailings dam.

**Slimes** : The fine portion of the total tailings. Slimes generally range from a maximum particle size of about 75 microns to clay sizes. The coarser slimes particles are generally deposited on the tailings beach, with the finest material settling out in the tailings pond.

**Spigotting** : The procedure whereby the tailings are discharged into the tailings pond through a large number of small outlets or spigots. Spigotting produces a fairly even distribution of tailings over the tailings beach that forms the upstream semi-impervious zone of the tailings dam.

**Starter Dam** : The initial Stage I tailings dam, which is constructed before the mining operation starts and provides the starting point for construction of the ultimate tailings dam.

**State-of-the-Art** : The level or stage of technological development reached at the present time.

**Sub-aerial Method of Deposition** : This is the name commonly used in North America for a method of spigotting which uses spray bars to place thin layers of tailings on a previously deposited beach.

**Tailings Line** : The pipeline used to carry the tailings from the mill to the tailings pond.

**Tailings Pond** : The impoundment created by the construction of the tailings dam. Mainly contains tailings along with varying amounts of free water.

**Tailings Sand** : The sand obtained from the total tailings for use in construction of the tailings dam. Usually produced by cycloning the total tailings.

**Underflow** : The sand discharge that comes from the bottom of the cyclone.

**Upstream Method of Construction** : Any one of several procedures whereby the Stage II, ongoing construction of the tailings dam, is constructed in an upstream direction, over top of previously deposited tailings.

**Water Balance** : The process whereby all water entering the pond, all water leaving the pond, and all water losses, are defined such that the net gain or loss of water into the tailings pond can be determined.



---

## ANNEXES - APPENDICES

---

- |  |   |
|--|---|
| A) Sécurité des barrages et retenues de stériles vis-à-vis de l'environnement    | A) Environmental safety of tailings dams and impoundments |
| B) Recommandations concernant la législation applicable aux barrages de stériles | B) Guidelines on tailings dam legislation                 |

## SÉCURITÉ DES BARRAGES ET RETENUES DE STÉRILES VIS-A-VIS DE L'ENVIRONNEMENT

### 1. INTRODUCTION

Cette annexe donne un aperçu général de quelques problèmes d'environnement associés au stockage des stériles. Comme le sujet est très technique et très complexe, un examen détaillé n'est pas du domaine de cette présentation. L'Annexe n'a en conséquence pour but que d'informer le lecteur de l'étendue des problèmes d'environnement liés aux barrages de stériles de telle sorte qu'il puisse mieux apprécier les nombreux aspects concernant l'environnement, dont il faut tenir compte dans le projet de ces barrages.

De nombreux stériles contiennent des matériaux toxiques qui, en cas de mauvaise manipulation, peuvent constituer un danger pour le public et l'environnement. Lorsqu'une retenue de stériles est pleine ou que les opérations minières sont arrêtées, la retenue de stériles doit être restructurée. La restructuration doit assurer la protection du public et de l'environnement contre les crues dangereuses et les fuites de matériaux toxiques, sur une longue période de temps. Cette annexe essaye de mettre en évidence quelques aspects les plus importants de la stabilité à long terme des retenues de stériles et indique quelques mesures à prendre pour assurer la stabilité à long terme.

### 2. STÉRILES

Dans certains cas, le matériau de stérile est stable vis-à-vis de réactions dangereuses et peut être considéré comme non toxique. Cependant, la plupart des stériles contiennent des matériaux solubles et toxiques. Parmi les exemples de tels matériaux, on peut citer les sels, les métaux lourds et la pyrite.

La détermination du seuil de concentration au-dessus duquel un matériau peut être considéré comme présentant un risque vis-à-vis du public et de l'environnement est souvent un exercice compliqué. Une certaine concentration peut être alarmante dans un environnement donné et acceptable dans un autre.

Les principaux éléments constitutifs des roches, tels que le potassium, l'aluminium ou le silicium sont rarement considérés comme toxiques. D'autres éléments, par exemple le titane, le magnésium et le fer, peuvent être classés comme toxiques dans certains cas, mais non dans toutes les circonstances. Par contre, des éléments tels que le mercure, l'arsenic, le zinc, le cuivre, le plomb, le cadmium et les autres métaux lourds sont généralement considérés comme toxiques, spécialement si l'environnement est acide.

Le paramètre le plus important qui contrôle le comportement chimique est l'acidité potentielle des stériles. Le matériau principal provoquant l'acidification est la pyrite. Lorsque celle-ci est présente au-dessus d'une certaine concentration,

## ENVIRONMENTAL SAFETY OF TAILINGS DAMS AND IMPOUNDMENTS

### 1. INTRODUCTION

This Appendix presents a general overview of some of the environmental concerns associated with the storage of tailings. As the subject is highly technical and very complex a detailed discussion is beyond the scope of this presentation. The Appendix is therefore intended only to acquaint the reader with the scope of the environmental problems associated with tailings dams so that he can better appreciate the many environmental concerns which must be addressed in tailings dam designs.

Many tailings contain toxic materials which, if not properly handled, may be a hazard to the public and the environment. When a tailings pond becomes filled or the mining operation closes down, the tailings pond must be rehabilitated. The rehabilitation must ensure that the public and the environment are protected against hazardous floods and release of toxic materials over a very long period of time. This overview attempts to highlight some of the more important aspects for the long-term stability of the tailings impoundment and indicates some of the measures which must be undertaken to ensure that long-term stability is achieved.

### 2. TAILINGS

In some instances the tailings material is stable against hazardous reactions and can be considered as non-toxic. However, most tailings contain soluble and toxic materials. Examples of such materials are salts, heavy metals and pyrite.

The determination of the threshold concentration, above which a material could be considered as a risk for the public and environment, is often a complicated exercise. A certain concentration may be harmful in one environment and accepted in another.

Major rockforming elements such as Potassium, Aluminium and Silicon, are seldom considered as toxic. Other elements, for instance Titanium, Magnesium and Iron, may be classified as toxic in some but not all circumstances. However, elements such as Mercury, Arsenic, Zinc, Copper, Lead, Cadmium and other heavy metals are normally considered as toxic, especially if the environment is acid.

The most important variable controlling the chemical behaviour is the acidity potential of the tailings. The dominating material which can cause acidification is pyrite. When pyrite is present above a certain level, often 0.5 to 1 %, acidification

généralement de l'ordre de 0,5 à 1 %, l'acidification due à son oxydation peut se produire. La solubilité des métaux lourds augmente avec l'acidité. Si l'oxydation de la pyrite se produit, la concentration en métaux lourds dans les eaux de percolation peut être très élevée et entraîner une pollution des eaux souterraines et des rivières avoisinantes.

Les réactions dangereuses peuvent être empêchées, par exemple en étanchant toutes les surfaces avec des matériaux adaptés ou en déposant les stériles sous l'eau. Les matériaux d'étanchéité empêchent la diffusion et l'oxydation des stériles. Lorsque les stériles sont placés sous l'eau, l'apport en oxygène est limité et une oxydation dangereuse ne se produit pas normalement.

### 3. EXIGENCES A LONG TERME

Les principales exigences à satisfaire sont :

- La stabilité physique du barrage et des dépôts.
- Une fuite faible et acceptable des éléments toxiques contenus dans les stériles.
- La prévention de réaction chimique dangereuse dans les stériles.

Lorsque les stériles doivent être protégés contre des réactions dangereuses, il est souhaitable que les barrages soient conçus de façon :

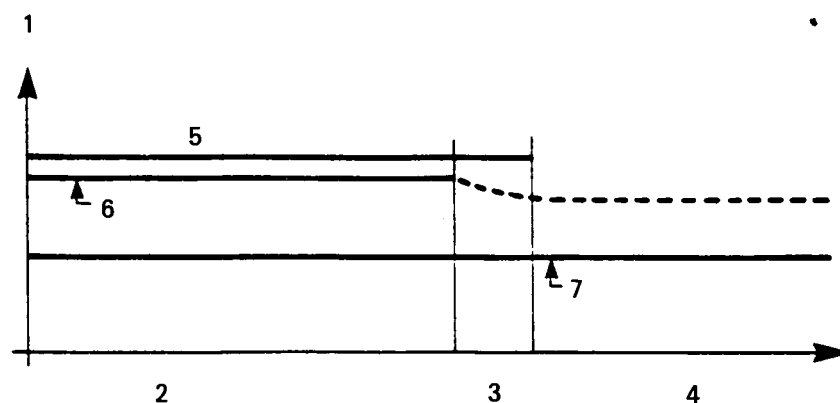
- que le dépôt puisse être mis hors d'eau puis couvert avec un matériau adapté;
- ou que les stériles soient toujours conservés sous l'eau.

### 4. GESTION

La gestion d'un barrage et d'un dépôt de stériles comporte les phases suivantes qui s'échelonnent dans le temps :

- l'exploitation,
- la restructuration,
- la phase à long terme.

La Fig. 1 illustre ces trois phases dans le cadre de la gestion d'une retenue de stériles.





due to pyrite oxidation can take place. The solubility of heavy metals increases with increasing acidification. If pyrite oxidation occurs, the concentration of heavy metals within seepage water can be very high and pollute the surrounding ground-water and streams.

Hazardous reactions can be prevented, for instance by sealing all surfaces with suitable materials or by depositing the tailings under water. The sealing materials prevent diffusion and oxidation of the tailings. When the tailings are placed under water, the supply of oxygen is limited and harmful oxidation normally will not occur.

### 3. LONG-TERM DEMANDS

The principal demands to be satisfied are as follows :

- Physical stability of the dams and the deposit.
- Acceptably low release of toxic containments.
- Prevention of hazardous chemical reactions within the tailings.

When the tailings must be protected against hazardous reactions it is desirable that the dams be designed so that :

- the deposit can be dewatered and covered by suitable material or so that
- the tailings always will be under water.

### 4. MANAGEMENT

The management of a tailings dam and deposit can be separated into the following time phases :

- The operating phase.
- The rehabilitation phase.
- The long-term phase.

Fig. 1 illustrates these three time phases in the management of a tailings impoundment.

Fig. 1

Release levels  
*Niveaux des fuites*

(1) Release	(1) <i>Fuite</i>
(2) Operation of the mine	(2) <i>Activité de la mine</i>
(3) Rehabilitation	(3) <i>Restructuration</i>
(4) Long-term	(4) <i>Long terme</i>
(5) Control level	(5) <i>Niveau de contrôle</i>
(6) Release from the deposit	(6) <i>Fuite à partir du dépôt</i>
(7) Release from the background	(7) <i>État antérieur</i>

Pendant la phase d'exploitation, la stabilité physique du barrage et la libération des différents effluents, ne varieront pratiquement pas et seront contrôlées pour satisfaire aux exigences des organismes de contrôle. Les techniques actuelles, telles que décrites dans « Manuel des barrages et dépôts de stériles » 1982, Bulletin 45 de la CIGB, fournissent des règles et recommandations pour la conception des barrages et leur gestion pendant cette phase.

Quand l'exploitation cesse, les caractéristiques de l'eau dans la retenue et celles des stériles eux-mêmes changeront dans le temps. Un état pourra éventuellement être atteint dans lequel des dispositifs naturels contrôlent le niveau de l'eau dans la retenue et les fuites provenant du dépôt. Des mesures seront prises afin que le barrage et le dépôt aient une stabilité à long terme acceptable sans nécessité d'un contrôle et d'un entretien. Il est souhaitable qu'à la fin de la phase de restructuration, les fuites de produits toxiques soient inférieures à celles se produisant pendant la phase d'exploitation.

La phase à long terme commence lorsque les rejets physiques et chimiques auront atteint un niveau constant avec un risque faible et acceptable. La zone devra être soit restaurée sous forme d'un lac, soit mise hors d'eau et si possible plantée avec une végétation adaptée.

## **5. IMPLANTATION**

Comme indiqué dans le texte principal, les sites de barrage de stériles peuvent être classés en 5 grandes catégories :

- En travers de val.
- A flanc de côteau.
- Remblai annulaire.
- Remblai incisé.
- Combinaison de plusieurs types ci-dessus.

Lorsque le dépôt de stériles doit finalement être mis hors d'eau, une digue annulaire est favorable. La retenue est isolée des rivières locales et le bassin versant est le même que celui de la zone de dépôts, ce qui permet la mise hors d'eau des stériles.

Lorsque les stériles doivent rester sous l'eau, l'apport d'eau dans la retenue doit être suffisant pour assurer une submersion continue. Les implantations favorables sont celles en travers de val et à flanc de côteau, qui ont généralement un bassin versant important. Les apports dans la retenue permettent, pour la plupart des conditions climatiques, d'assurer un stockage des stériles sous l'eau.

## **6. TYPES DE BARRAGES**

Les barrages de stériles peuvent, pour simplifier, être classés en deux catégories principales : ceux construits en utilisant les stériles et ceux construits en utilisant des matériaux d'emprunt et les techniques classiques de construction des barrages.

En ce qui concerne la stabilité à long terme, les barrages construits avec les stériles sont, par nature, moins stables et plus érodables que ceux construits avec des

During the operating phase the physical stability of the dams and the release of various containments mostly will be fairly constant and controlled to meet the requirements of the licensing agencies. Current engineering practices as described in " Manual Tailings Dams and Dumps " 1982, ICOLD Bulletin 45, provide rules and routines for the design of the dams and their management during this phase.

When operations cease the characteristics for both the water in the tailings pond and the tailings themselves will change with time. Eventually a stage will be reached at which natural systems control the water level within the pond and the release from the deposit. Steps should be taken so that the dams and the deposit will have an acceptable long-term stability without any need for control and maintenance. It is desirable that at the end of this rehabilitation phase the release of toxic containments is less than during the operating phase.

The long-term phase will start when physical and chemical releases have reached a steady level, with acceptable low risk for the public and the environment. The area shall either be restored as a lake or dewatered and if possible planted with suitable vegetation.

## **5. LOCATION**

As discussed in the main text, tailings dam sites may be classed into five broad categories as follows :

- Cross-valley.
- Side-hill.
- Ring-dike.
- Incised.
- Complex : cross-valley, side-hill.

When the tailings deposit must ultimately be dewatered, a ring-dike configuration is favourable. The tailings pond is isolated from local streams and the catchment area is the same as the deposit area, which should enable dewatering of the tailings.

Where the tailings must remain under water, the inflow to the pond must be sufficient to ensure continuous submergence. Suitable locations are the cross-valley and the side-hill alternatives, which normally have a considerable catchment area. The inflow to the pond from these areas should, for most climatic conditions, ensure underwater storage of the tailings.

## **6. DAM TYPES**

Tailings dams may, for simplification, be divided into two basic classes. Those constructed using tailings and those constructed using borrow materials and conventional dambuilding techniques.

From a long-term stability point of view, dams constructed of tailings are inherently less stable and more erodible than dams constructed from borrow

matériaux d'emprunt en utilisant les techniques classiques de construction de barrages. Si les stériles contiennent des matériaux toxiques, il y a aussi un risque de fuite de polluants dans l'environnement. Des mesures spéciales pour la stabilité à long terme sont souvent nécessaires pour les différents types de barrages. Quelques exemples sont discutés et décrits dans les paragraphes suivants.

## **7. MESURES CONCERNANT LA STABILITÉ A LONG TERME**

### **7.1. Généralités**

Pendant la phase à long terme d'un stockage de stériles, celui-ci est généralement drainé pour former une zone susceptible de recevoir une couverture végétale, ou submergé pour former un lac permettant de maintenir les dépôts continuellement sous l'eau. Pour quelques stériles, cette phase à long terme peut durer plusieurs centaines d'années. En conséquence, il est essentiel que le barrage et la retenue de stériles restent stables pendant une très longue période.

### **7.2. Durée de vie des barrages**

Un ouvrage fait de la main de l'homme peut probablement être garanti pour fonctionner pendant 100 ans ou peut-être plusieurs centaines d'années. Il peut cependant servir plus longtemps. Les civilisations anciennes montrent des exemples d'ouvrages construits par l'homme qui durent très longtemps, tels que les Pyramides d'Égypte ou du Mexique et la Grande Muraille de Chine. Il y a aussi des exemples de vieux barrages construits il y a plus de 1 000 ans et qui servent toujours d'ouvrage de stockage d'eau. En conséquence, il paraît raisonnable d'espérer qu'avec un projet correct et en utilisant des matériaux ayant une durée de vie importante, il soit possible d'assurer un comportement et une stabilité acceptables des barrages de stériles pendant plusieurs centaines d'années et même 1 000 ans.

### **7.3. Mécanisme de rupture**

En dépit des incertitudes considérables sur le comportement à long terme, il est possible de prévoir les mécanismes de rupture. La gravité d'une rupture peut varier considérablement suivant la situation géographique. Cependant, on suggère de considérer les mécanismes de rupture suivants :

- Pression d'eau et crues.
- Érosion due à l'eau.
- Érosion due au vent.
- Altération du matériau de construction.
- Séismes.

### **7.4. Pression de l'eau et crues**

Un barrage est un ouvrage nécessitant un entretien et une surveillance continus. Normalement, de tels travaux ne seront pas effectués pour un barrage de stériles une fois le dépôt restructuré. Le projet et la restructuration d'un barrage de stériles seront, en conséquence, conduits en tenant compte des pressions de l'eau et des crues auxquelles il sera exposé pendant la phase à long terme.

materials using conventional dam building techniques. If the tailings contain toxic material, there is also a risk of release of pollutants to the environment. Special measures for the long-term stability are often required for the different dam types. Some examples of such measures are discussed and described in the following sections.

## **7. MEASURES FOR LONG-TERM STABILITY**

### **7.1. General**

During the long-term phase of a tailings impoundment, the area is usually either drained to form an area that can be covered and vegetated or flooded to form a lake which keeps the deposits continuously submerged. For some tailings this long-term phase may last for several hundreds of years. Therefore it is essential that the dams and the tailings impoundment remain stable for a very long period of time.

### **7.2. Lifetime of Dams**

A man-made structure can probably be guaranteed to function for a hundred years, or perhaps a few hundred years at the most. It can, however, continue to perform much longer than this. From ancient cultures there are examples of man-made structures with very long lives such as the Pyramids in Egypt and Mexico and the Great Wall in China. There are also examples of old dams built more than 1 000 years ago and still serving as water retaining structures. Therefore it would seem reasonable to expect that, with proper design, and by using materials with a long service life, it should be possible to ensure the acceptable behaviour and stability of tailings dams for periods of several hundred and perhaps as long as 1 000 years.

### **7.3. Failure Mechanisms**

Despite considerable uncertainties relating to processes during the long-term phase, it is possible to predict failure mechanisms. The severity of any failure can vary considerably with geographic location. However it is suggested for this discussion, that the following failure mechanisms be considered :

- Water pressure and floods.
- Water erosion.
- Wind erosion.
- Weathering of construction material.
- Earthquakes.

### **7.4. Water Pressure and Floods**

A dam is a structure, which requires continuous inspection and maintenance. Normally such works will not be carried out for tailings dams once the deposit is rehabilitated. The design and rehabilitation of a tailings dam should therefore be carried out with consideration being given to the water pressures and floods to which it may be exposed during the long-term phase.

#### 7.4.1. *Dépôts mis hors d'eau*

Le risque d'une rupture sous la pression de l'eau peut être réduit si la retenue de stériles est mise hors d'eau. L'abaissement du niveau de l'eau permet aux stériles de se drainer et de devenir ainsi une zone terrestre. Le site n'est plus alors soumis à des pressions hydrauliques excessives. Au contraire, des conditions naturelles de nappe s'y développeront. Les exigences de la stabilité à long terme pour un tel site sont nettement moindres que celles d'une retenue de stériles comportant de grands volumes d'eau. La mise hors d'eau rend possible la protection des stériles contre l'altération chimique, par étanchement de toutes les surfaces.

#### 7.4.2. *Dépôts sous l'eau*

Quand le projet nécessite que les stériles restent sous l'eau, des mesures sont prises pour permettre à la retenue de se comporter de façon sûre, tel un lac avec un exutoire naturel. Pour le comportement à long terme, des mesures sont incluses dans le projet de restructuration permettant de protéger la retenue de stériles vis-à-vis des problèmes liés aux percolations, tels que : érosion interne, renard, développement de pressions interstitielles élevées susceptibles d'entraîner des glissements et des instabilités locales. Des mesures telles que des faibles pentes, des drains et filtres internes permettant de contrôler le niveau de la nappe, des protections de surface contre l'érosion et/ou les renards sont souvent nécessaires. Idéalement, la ligne phréatique doit être abaissée afin que le barrage puisse être considéré, pendant la phase à long terme, comme soumis à un écoulement normal de nappe au lieu d'être soumis à des pressions interstitielles élevées.

Le dépôt sera conçu avec un évacuateur de crue de capacité suffisante pour être protégé d'un déversement sur la crête. L'évacuateur de crue doit pouvoir transiter la crue de projet maximale. Dans le « Manuel des barrages et dépôts de stériles », des recommandations sont faites concernant les crues de projet. La crue de projet recommandée est fonction de la taille du dépôt et des risques potentiels. La classification des risques potentiels est basée sur les pertes de vies humaines et/ou les dommages matériels résultant d'une rupture de l'ouvrage. Quand les stériles contiennent des matériaux toxiques, leur influence est prise en compte pour l'évaluation des risques potentiels. Il est souvent nécessaire de classer ces matériaux dans la catégorie des risques élevés.

Pour dimensionner l'évacuateur de crue, il est raisonnable et prudent d'adopter la crue maximale probable (PMF) compte tenu de la grande durée de la phase à long terme. La PMF représente une limite supérieure et permet de s'affranchir des incertitudes liées à l'extrapolation des données hydrologiques de base. La prévision des crues pendant la phase à long terme, en utilisant les données hydrologiques de base qui portent rarement sur une période de plus de 50 à 100 ans, est une approche peu sûre, susceptible de se traduire par une sous-estimation importante.

La construction d'évacuateurs de crue permettant de transiter de façon sûre des crues extrêmes, telles que la PMF, est parfois très coûteuse. Ces coûts peuvent être réduits en construisant un évacuateur de service permettant de maîtriser des crues plus faibles, par exemple celles d'une période de retour de 100 ans et en construisant un évacuateur de secours pour maîtriser les crues importantes incluant la PMF. La meilleure solution est de construire de tels évacuateurs dans une zone éloignée du barrage et sur un substratum rocheux résistant à l'érosion.

#### *7.4.1. Dewatered Deposit*

The risk of dam failure due to water pressure can be minimized, if the tailings pond is dewatered. Lowering the water level allows the tailings to drain and in effect become a landfill. The site is then no longer subjected to excess water pressure. Instead, natural groundwater conditions will have developed in it. The long term safety requirements for such a site are much less than those for a tailings impoundment site storing large volumes of water. Dewatering makes it possible to protect the tailings from chemical weathering by sealing all surfaces.

#### *7.4.2. Under Water Deposit*

When the design requires that the tailings remain under water, measures should be taken which allow the pond to perform safely as a lake with a natural outlet. For long-term performance, measures must be included in the rehabilitation design that protect the tailings impoundment from seepage problems such as internal erosion or piping and the development of high pore pressures which might cause slumping and local instability. Measures such as flat slopes, internal drains and filters to control the phreatic line and surface protection against erosion and/or piping are often required. Ideally the phreatic line should be lowered so that the dams can be considered as being subjected to normal groundwater instead of excess water pressure during the long-term phase.

The deposit must be provided with sufficient spillway discharge capacity to protect against overtopping the crest. The spillway should be designed to handle the maximum design flood. In the " Manual of Tailings and Dumps " recommendations for design floods are discussed. The recommended design flood is a function of the size of the deposit and the hazard potential. The classification of the hazard is based on potential loss of human life and/or property damage should the structure fail. When the tailings contain toxic materials, the influence of these materials should be considered when evaluating the hazard potential. It is often necessary to classify such materials as posing a high hazard.

In evaluating the capacity of the spillway structures it is, due to the length of the long-term phase, reasonable and prudent to use the probable maximum flood (PMF). The PMF represents an upper limit value and removes uncertainties with extrapolation of existing hydrological data bases. To predict floods during the long-term phase using hydrological data bases which seldom exceed 50 to 100 years is unreliable and could result in large inaccuracies on the unsafe side.

The construction of spillways for safe passage of extreme floods such as the PMF may be very costly. These costs can be reduced by constructing a service spillway to handle smaller floods, say a 100-years return period and constructing an emergency spillway to handle the large floods, including the PMF. Ideally, such spillways should be constructed at some location remote from the tailings dam and in competent, erosion-resistant rock.

### **7.5. Érosion due à l'eau**

Les facteurs principaux influençant l'érosion due à l'eau sont : la pluviométrie, la superficie du bassin versant, le ruissellement, l'étendue de la couverture végétale, la pente et la longueur des talus. La stabilité des matériaux naturels vis-à-vis de l'érosion par l'eau peut parfois être estimée en utilisant des données historiques concernant l'influence de cette action sur des formations semblables à celles utilisées par la construction du barrage. Ces prévisions peuvent être également combinées avec des études théoriques. Une estimation du degré d'érosion peut être faite en utilisant l'ouvrage « Universal Soil Loss Equation » (Wishmeier et al 1978, Israelssen 1980).

### **7.6. Érosion due au vent**

L'érosion due au vent dépend du climat, de l'érodabilité, de la végétation, de la longueur et de la pente des talus. Elle peut être prévue en utilisant des données historiques ou l'ouvrage « Wind Soil Loss Equation » (Israelssen et al, 1980), qui est comparable à « Universal Soil Loss Equation ». L'érosion due au vent peut constituer un problème si le barrage est construit avec des stériles de granulométrie fine. Elle peut être contrôlée de la même manière que l'érosion due à l'eau. Les mesures vis-à-vis de l'érosion par l'eau permettent généralement de traiter le problème de l'érosion due au vent.

### **7.7. Altération**

Les matériaux de fondation et de remblai du barrage doivent résister à l'altération. Les barrages de stériles sont généralement construits avec des stériles, des matériaux d'emprunt naturels et parfois des matériaux artificiels.

Le processus d'altération peut être divisé en deux catégories : physique et chimique. L'altération physique inclut des actions telles que la fissuration et l'éclatement. Elles sont souvent provoquées par le gel-dégel, le séchage-mouillage et les variations de température. L'altération physique comprend aussi les dégradations résultant de la végétation et de la pénétration des racines.

L'altération chimique dépend de la minéralogie des matériaux, de la présence d'oxygène, des acides organiques et de l'eau. Les processus chimiques les plus courants sont la dissolution et les réactions acides, l'oxydo-réduction, l'hydratation et l'hydrolyse.

Les sols et les roches présentent souvent une meilleure stabilité vis-à-vis de l'altération que les matériaux artificiels. Les matériaux artificiels, tels que le béton, le bitume, les plastiques, etc., ont une durée de vie relativement courte et ne doivent pas être utilisés pour assurer une stabilité à long terme. Parmi les matériaux rocheux qui resteront stables pendant de très longues périodes, on peut citer les granites et gneiss à grains fins, les quartzites et les schistes ardoisiers non calcaires. Les granites et gneiss à gros grains, les basaltes, les diabases et certains types de grès peuvent parfois être acceptables en tant que matériaux de construction et de fondation. Les sols constitués principalement d'éléments provenant des roches mentionnées ci-dessus doivent aussi présenter une stabilité à long terme acceptable.



### **7.5. Water Erosion**

The major factors affecting water erosion are : amount of rainfall, catchment area, runoff, extent of vegetative cover, and steepness and length of slopes. The stability of natural soil materials against water erosion can sometimes be predicted by using historical data of the influence from this process upon formations similar to a dam construction. The predictions can be combined with theoretical studies. An indication of the erosion rate can be evaluated using the “ Universal Soil Loss Equation ” (Wishmeier et al, 1978, Israelsen, 1980).

### **7.6. Wind Erosion**

Wind erosion is a function of climate, erodibility, vegetation, and length and steepness of slopes. It can be predicted by using historical data or the “ Wind Soil Loss Equation ” (Israelsen et al, 1980) which is similar to the “ Universal Soil Loss Equation ”. Wind erosion can be a problem if the dam is built of fine-grained tailings. It can be controlled in the same way as water erosion. Measures against water erosion will generally also serve the purpose of controlling wind erosion.

### **7.7. Weathering**

Dam fill and foundation materials must resist weathering. Tailings dams are normally built of tailings, natural borrow materials and sometimes of artificial materials.

Weathering processes can be divided into two processes : physical and chemical. Physical weathering includes such processes as slaking, cracking and spalling. They are often caused by freezing-thawing, wetting-drying and actions from temperature changes. Physical weathering also comprises degradation from vegetation and root penetration.

Chemical weathering depends on the mineralogy of the materials, availability of oxygen, organic acids and water. Common chemical processes are dissolution and acidic reactions, oxidation-reduction, hydration and hydrolysis.

Soils and rocks often have better stability against weathering than artificial materials. Artificial materials such as concrete, asphalt, plastics, etc., have relatively short lifetimes and should not be used for long-term stability purposes. Examples of rock materials which should remain stable for very long periods are fine-grained granites or gneisses, quartzites and non-calcareous slates. Coarse-grained granites or gneisses, basalts, diabases and some types of sandstones may sometimes be suitable as construction and foundation material. Soils mainly consisting of grains from the above-mentioned rocks should also have an acceptable long-term stability.

## **7.8. Séismes**

La stabilité vis-à-vis des séismes et des vibrations est décrite dans le « Manuel des barrages et dépôts de stériles ». Différentes méthodes permettant d'accroître la stabilité du barrage de stériles sont décrites, telles que l'abaissement de la nappe phréatique, le compactage des stériles, la consolidation des stériles par surcharge et la mise en place de couches intermédiaires plus grossières. Pour la stabilité à long terme des dépôts de stériles, une ou plusieurs de ces méthodes peuvent être nécessaires. Cependant, lorsque cela est possible, la meilleure solution est de concevoir le barrage et le dépôt de telle sorte qu'ils puissent être mis hors d'eau lorsque les opérations minières sont terminées. Dans ce cas, le risque d'une rupture sous sollicitation dynamique est réduit.

## **8. MESURES VIS-A-VIS DE RÉACTIONS CHIMIQUES DANGEREUSES**

Des réactions chimiques dangereuses peuvent se produire dans des stériles toxiques mis hors d'eau. On peut les empêcher en réalisant un étanchement de la surface du dépôt avec des matériaux convenables ayant une bonne stabilité à long terme. Cet étanchement doit empêcher la diffusion de l'oxygène et l'infiltration de l'eau (cf. chapitres 2 et 3).

Les barrages construits avec des stériles toxiques seront protégés de la même manière que le dépôt. Les talus et la crête seront recouverts avec des matériaux appropriés. Cette couverture peut être constituée de différents types de sols et de roches tels que silt, sable, gravier, moraine, rip-rap, etc. Son épaisseur totale dépendra de l'efficacité des matériaux utilisés et de la vulnérabilité des stériles vis-à-vis des actions chimiques. Cette couverture servant aussi de protection contre l'érosion, il est prudent de mettre en place une couverture relativement épaisse. Une valeur minimale de 1,50 m à 2 m est suggérée. La couverture doit être si possible plantée avec une végétation appropriée.

## **9. FERMETURE ET RESTRUCTURATION**

Lorsqu'un dépôt est fermé, la phase de restructuration commence. Pendant cette phase, les barrages et dépôts seront contrôlés pour s'assurer qu'ils satisfont aux exigences relatives à la stabilité à long terme.

Un programme pour suivre le comportement des barrages et dépôts sera établi. Ce programme prendra en considération la plupart des risques vis-à-vis de la stabilité et de l'environnement, qui peuvent se produire sur le site. Ces risques peuvent varier considérablement d'un site à l'autre. Cependant, les points suivants doivent être examinés durant la phase de restructuration :

- Pression de l'eau.
- Érosion due à l'eau.
- Érosion due au vent.
- Altération des matériaux de remblai du barrage.
- Eau de percolation, volume, qualité et teneur en matériaux toxiques.
- Végétation.

Les observations continueront jusqu'à ce que les valeurs mesurées aient atteint un niveau constant et acceptable.

## **7.8. Earthquakes**

Stability against earthquakes and vibrations is described in “ Manual of Tailings Dams and Dumps ”. Different methods for increasing the stability of a tailings dam are described, such as lowering the phreatic surface, compaction of the tailings, consolidation of the tailings by overburden and placement of intermediate coarser layers in the tailings. For the long-term stability of the tailings deposit, one or more of these methods may be necessary. However, where possible, the best solution is to design the dams and the deposit so they can be dewatered when the mining operations are finished. The risk for dam failure caused by dynamic forces is thereby minimized.

## **8. MEASURES AGAINST HAZARDOUS CHEMICAL REACTIONS**

Hazardous chemical reactions can take place in dewatered toxic tailings. They can be prevented by sealing the surface of the deposit with suitable materials having good long-term stability. The sealing cover should prevent diffusion of oxygen and infiltration of water (Sections 2 and 3).

Tailings dams built of toxic tailings should be protected in a similar way to that of the surface of the deposit. The slopes and the crest should be covered by appropriate materials. The cover may consist of different soil and rock materials such as silt, sand, gravel, till, rip-rap, etc. The total thickness depends on the effectiveness of the materials used and the vulnerability of the tailings to chemical processes. As this cover also serves as erosion protection, it is prudent to place a relatively thick cover. A minimum thickness of 1.5 to 2 metres is suggested. The cover, if possible, should be planted with suitable vegetation.

## **9. CLOSURE AND REHABILITATION**

When a deposit is closed, the rehabilitation phase starts. During the rehabilitation phase the dams and the deposits should be controlled to meet the demands relating to the long-term stability.

A control program to monitor the performance of the dams and the deposit should be undertaken. The program should take into account most of the stability and environmental hazards which may occur at the site. The hazards can vary considerably from site to site. However, the following items should be observed during the rehabilitation phase :

- Water pressure.
- Water erosion.
- Wind erosion.
- Weathering of the dam fill materials.
- Seepage water, volume, quality and contents of toxic material.
- Vegetation.

The observations should continue until measured values have reached a constant and acceptable level.

Lorsque la phase à long terme commence, la zone sera conçue et aménagée afin qu'elle se comporte comme un lac ou comme un terrain mis hors d'eau et avec végétation. Cette zone doit s'intégrer au paysage environnant. La nécessité de son contrôle sera réduite à un niveau aussi faible que possible, tout en restant acceptable, et la zone sera rendue à des usages publics.

#### **Références**

- WISHMEIER, W. H. and SMITH, D. D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. USDA Handbook 537.
- ISRAELSEN, C. E. et *al*, 1980. Erosion Control during Highway Construction. National Cooperative Highway Research Program. Report 221. National Research Council, Washington, D.C.

When the long-term, phase begins, the area should be designed to either act as a lake or a dewatered and revegetated piece of land. It should, in a satisfactory way, form a natural part of the surrounding landscape. The need for control of the area should be reduced to as low level as reasonably achievable, and the area should become available for public use.

**References :**

- WISHMEIER, W. H. and MITH, D. D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. USDA Handbook 537.
- ISRAELSEN, C. E. et *al*, 1980. Erosion Control during Highway Construction. National Cooperative Highway Research Program. Report 221. National Research Council, Washington, D. C.

## **RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA LÉGISLATION APPLICABLE AUX BARRAGES DE STÉRILES**

### **INTRODUCTION**

Le premier Comité des Barrages de Stériles Miniers et Industriels a été constitué lors de la 44<sup>e</sup> Réunion Exécutive de la CIGB tenue à Mexico (Mexique) en 1976. En 1982, elle a publié le Bulletin n° 45 de la CIGB intitulé « Manuel des barrages et dépôts de stériles ».

Les « barrages de stériles » sont définis comme des ouvrages (barrages) constitués, soit de résidus miniers ou industriels, soit de terre ou enrochement, pour permettre le stockage des stériles. Les stériles provenant des industries minières sont des résidus fins (généralement de la dimension des silts et des sables) transportés hydrauliquement pour être mis en place dans la retenue de stériles qui, éventuellement, peut être restructurée.

Les barrages de stériles diffèrent des barrages classiques en ce qu'ils retiennent des matières solides tout aussi bien que de l'eau.

Le Bulletin 45 couvre tous les aspects techniques relatifs au site, au projet, à la construction, à l'exploitation, à l'entretien, à la fermeture éventuelle et à la restructuration des barrages et dépôts de stériles. On suggère ci-après quelques recommandations pour la mise au point et la publication d'une législation et de règlements s'appliquant à ces activités.

Certains pays ont déjà introduit des législations pour réglementer le projet, la construction, l'exploitation et l'entretien des barrages de stockage d'eau, de façon à assurer leur sécurité permanente et leur compatibilité vis-à-vis des biens matériels et des vies humaines. Seuls quelques pays ont pris des mesures semblables pour les barrages de stériles bien qu'ils aient de nombreux points communs avec les barrages classiques.

La priorité a été donnée à juste titre à l'introduction d'une réglementation concernant les barrages hydrauliques, car ils constituent souvent des ouvrages très importants retenant d'importants volumes d'eau et submergeant de grandes surfaces dans des régions développées; ils présentent de ce fait un risque potentiel de désastres catastrophiques en cas de rupture.

Les barrages hydrauliques sont généralement construits et entretenus par des services publics ou des concessionnaires déjà soumis à des règlements et exploitant ces ouvrages sous la juridiction d'autorités gouvernementales, ce qui facilite l'enregistrement et l'inspection des ouvrages ainsi que la mise en application de règlements concernant la sécurité et l'environnement.

Par contre, les barrages de stériles peuvent être construits comme une opération de routine par un nombre important et varié d'entreprises dont les activités, excepté celles concernant l'exploitation minière et quelques autres, peuvent ne pas être soumises à une législation spécifique et à la juridiction des autorités gouvernementales.

## GUIDELINES ON TAILINGS DAM LEGISLATION

### INTRODUCTION

The first Committee on Mine and Industrial Tailings Dams was formed during the 44th Executive Meeting of ICOLD held in Mexico City, Mexico, in 1976. In 1982 it drafted ICOLD's Bulletin 45, entitled " Manual on Tailings Dams and Dumps ".

" Tailings Dams " are defined as structures (dams) constructed of mill tailings, mine and other industrial wastes or earth or rockfill, for the impoundment of tailings. Tailings from the mining industry consist of fine waste (usually silt or sand size) transported hydraulically for disposal in tailings impoundments which are eventually rehabilitated.

" Tailings Dams " differ from conventional dams in that they retain solid materials as well as water.

Bulletin 45 covers all technical aspects of the siting, design, construction, operation, maintenance and eventual closure and rehabilitation of Tailings Dams and Dumps. Suggested guidelines for drafting and enacting legislation and regulations applying to the undertaking of these activities are now submitted herein.

Some countries have already introduced legislation to regulate the design, construction, operation and maintenance of water diversion or storage dams (water retaining dams), to assure their permanent safety and environmental compatibility vis-a-vis human property and life. In only a few countries have similar measures been taken in connection with tailings dams, although they have many features in common with water retaining dams.

Priority has properly been given to the introduction of regulatory legislation applying to water retaining dams because they frequently consist of very large structures impounding enormous volumes of water and flooding extensive land areas in well-developed regions, thus presenting the potential risk of catastrophic disasters in case of structural failure.

Water retaining dams are usually built and maintained by public service licensees or concessionaires already subject to regulatory legislation and operating under the jurisdiction of Government authorities, thus facilitating the registration and inspection of the structures as well as the enforcement of any applicable safety and environmental regulations.

However, tailings dams and tailings dumps may be constructed as an operating routine by a large and varied number of enterprises whose activities, excepting those of mining developments and a few others, may not be subject to specific regulatory legislation and to the jurisdiction of Government authorities.

En conséquence, si un pays désire introduire une législation et des règlements s'appliquant aux barrages de stériles en se basant sur les recommandations suggérées ci-après, il doit définir, en fonction de sa propre législation, quelle sera l'autorité nationale, régionale et/ou locale chargée de l'exécution et de l'application des règlements.

## **RECOMMANDATIONS PROPOSÉES**

1. En se conformant aux dispositions de sa propre législation, le gouvernement crée une « Commission Nationale des Barrages de Stériles » (ci-après désignée sous le nom de Commission Nationale), ayant la responsabilité et toute l'autorité pour :

a) préparer ou compléter un Registre complet des barrages de stériles existants, en construction, ou prévus, ainsi que de ceux fermés ou abandonnés;

b) mettre au point des règlements spécifiques aux barrages de stériles (ci-après désignés par Législation) et promouvoir leur mise en application par des voies légales adaptées.

2. Les membres de la Commission Nationale ont un mandat limité à 5 ans et représentent les différents secteurs impliqués (génie civil, mines, santé, environnement, communautés publiques, etc.).

3. Le Registre indique la situation et les propriétaires, qu'ils appartiennent à des entreprises minières, industrielles ou autres, des barrages de stériles existants ou envisagés. Il indique également les règlements ou législations existantes applicables à de telles entreprises, même si ces règlements ne se réfèrent pas spécifiquement aux barrages de stériles, ainsi que les autorités gouvernementales sous la juridiction desquelles lesdites entreprises travaillent.

4. La Législation réglemente le permis de construire, le projet, la construction, l'exploitation, l'entretien jusqu'à et y compris la fermeture et la restructuration des barrages de stériles, de façon à assurer leur sécurité permanente vis-à-vis des pertes en vies humaines, des effets dangereux sur la santé, ou des dommages aux biens, si une rupture se produit. Pour définir les bases techniques et les procédures relatives à ces règlements, la Commission Nationale prépare aussi ou fait préparer par des ingénieurs-conseils compétents des recommandations appropriées qui, introduites sous forme d'annexe à la Législation, seront réglementaires. Dans la préparation de ces recommandations, les informations et recommandations contenues dans le Bulletin 45 de la CIGB seront prises en compte.

5. La Législation sera compatible avec les informations contenues dans le Registre, c'est-à-dire avec le nombre, la situation, le type des barrages de stériles existants ou envisagés, et les entreprises propriétaires, de même qu'avec toute Législation déjà applicable aux autorisations et activités de telles entreprises, mais ne se référant pas spécifiquement aux barrages de stériles. Elle désigne aussi l'autorité nationale, régionale et/ou locale (ci-après désignée par « Autorité ») et spécifie les zones de juridiction attribuées de façon permanente à chaque Autorité qui, par conséquent, sera responsable de l'application de la Législation et du contrôle de toutes les phases de la construction d'un barrage de stériles, du permis de construire jusqu'à la restructuration et après. C'est également du domaine de l'Autorité d'assurer, pour le compte de la Commission Nationale, la mise à jour du Registre des barrages de stériles pour la partie qui la concerne et de faire des copies



Therefore, if any country desires to introduce legislation and regulations applying to tailings dams and tailings dumps, adopting, if it so decides, the guidelines suggested below, it must determine within the law of the country, which national, regional and/or local authorities will be charged with the execution and enforcement of the regulations.

## **RECOMMENDED GUIDELINES**

1. Complying with the applicable provisions of the law of the country, the Government should institute a “ National Commission of Tailings Dams ” (hereinafter referred to simply as National Commission), with the responsibility and commensurate authority to :

*a)* prepare or complete a comprehensive Register of Tailings Dams, existing, under construction or planned, as well as those closed or abandoned;

*b)* draft specialized regulatory legislation applying to tailings dams (hereinafter referred to simply as Legislation), and promote its enactment through the proper legal channels.

2. The members of the National Commission should have a mandate limited to five years and would represent the various sectors involved (Civil and mining engineering, health, environment, public communities, etc.).

3. The Register should include the location and owners of existing or planned tailings dams, either mining, industrial or any other enterprise, and should list the existing regulations or legislation, if any, applicable to such enterprises although not specifically referring to tailings dams, and the existing Government authorities, if any, under whose jurisdiction the said enterprises operate.

4. The Legislation should regulate the permit application, design, construction, operation, maintenance, through and including the closure and rehabilitation of tailings dams, so as to ensure their permanent safety against possible loss of life, health hazards or damage to property if a failure occurs. To provide the technical and procedural basis for this regulation, the National Commission should also prepare, or have prepared by competent engineering consultants, appropriate Guidelines, which will also be enacted as an appendix to the Legislation. In the preparation of these Guidelines the information and recommendations contained in ICOLD's Bulletin 45 should be taken into due account.

5. The Legislation should be compatible with the information obtained through the Register, i.e. with the number, location and variety of existing and planned tailings dams, and the enterprises owning them; as well as with any Legislation already in effect applicable to the licensing and operation of such enterprises but not specifically referring to tailings dams. It should also appoint the national, regional and/or local Government authorities (hereinafter referred to simply as “ Authority ”) and specify the areas of jurisdiction that will be permanently assigned to each Authority, which thereafter will be responsible for the enforcement of the legislation and monitoring all the phases of tailings dam construction, from permit application through rehabilitation and afterwards. It shall also be the duty of the Authority to maintain up to date its section of the Register of Tailings Dams for the

du Registre mis à jour disponibles pour inspection à des dates raisonnables par toute personne.

6. Dans la mesure où la loi le permet et si cela apparaît intéressant sur le plan administratif, l'Autorité peut être la Commission Nationale elle-même dont les activités seront alors permanentes et s'étendront au-delà de l'élaboration du Registre et de la Législation. Dans ce cas, la Commission Nationale, après expiration du mandat de ses membres, et son bureau peuvent être réorganisés de façon à être mieux adaptés aux exigences de ses fonctions permanentes (tel que proposé ailleurs dans ces recommandations).

7. La législation s'applique, avec force de loi, aux barrages de stériles :

- a) ayant une hauteur finale de 15 m ou plus au-dessus du terrain avoisinant;
- b) ou stockant un volume de stériles supérieur à 20 000 m<sup>3</sup>;
- c) ou présentant, quelles que soient leurs dimensions, des risques pour la santé, ou entraînant, en cas de rupture, des pertes de vies humaines ou des dégâts matériels.

8. La Législation doit être tout à fait claire sur le point suivant : en dépit des pouvoirs donnés par la loi à l'Autorité pour enregistrer, autoriser et contrôler les barrages de stériles tout au long de leur vie, ceci ne doit pas dégager le Maître d'ouvrage minier, industriel ou autre, de sa pleine responsabilité pour tout accident ou préjudice causé directement ou indirectement par la rupture du barrage de stériles, ou en relation avec la création de la retenue de stériles, qu'il y fait des pertes en vies humaines, des dommages aux biens ou des impacts sur l'environnement. Cette responsabilité sera étendue au-delà de la période de fermeture si les ouvrages présentent un risque à long terme.

9. L'Autorité gouvernementale responsable de façon permanente de l'application de la Législation (l'Autorité ou la Commission Nationale elle-même si une telle activité lui est déléguée de façon permanente) est administrée et dirigée par un ingénieur expérimenté dans le projet et la construction des barrages et retenues de stériles; elle emploie toutes personnes nécessaires pour un contrôle général efficace de toutes les phases du développement du barrage, en accord avec les recommandations et la Législation, en y incluant les procédures nécessaires assurant que l'implantation, le projet, la construction, l'entretien et l'exploitation des barrages de stériles seront faits sous le contrôle effectif d'ingénieurs dûment qualifiés.

10. Les Maîtres d'ouvrages miniers ou industriels demanderont à l'autorité un permis de construire avant le démarrage des opérations minières. Cette demande devra être dûment justifiée par des informations sur l'ouvrage envisagé, son but, la nature physico-chimique des stériles, les résultats des reconnaissances en surface et en profondeur et l'impact sur l'environnement. Ces informations devant être conformes aux Recommandations. L'Autorité pourra, à sa discrétion, demander des informations complémentaires ou imposer une révision indépendante par une tierce partie. Tout changement apporté, au cours des opérations, aux dimensions du barrage ou de sa retenue fera l'objet d'un nouveau permis de construire.

11. Les Maîtres d'ouvrage des barrages de stériles notifient en temps voulu, à l'Autorité, la fermeture envisagée des opérations minières. La notification doit être suivie d'informations sur l'état de l'ouvrage et d'une description des procédures de restructuration. Ces données sont confirmées par un certificat d'inspection établi par un ingénieur qualifié. L'Autorité peut, sur la recommandation de l'ingénieur chargé

National Commission, and to make copies of the updated register available for inspection at all reasonable times by any person.

6. As allowed by the law of the country, and convenient from the administrative standpoint, the Authority may be the National Commission itself whose activities would then be permanent and extended beyond the elaboration of the Register and of the Legislation. In this case, the National Commission, after expiration of the mandate of its members, the staff of the Commission may be reorganized to fit the requirements of its permanent functions as recommended elsewhere in these Guidelines.

7. The Legislation should apply, with full enforcement, to tailings dams that :

- a) have a final height of 15 m or more above adjoining land, or
- b) impound a tailings volume greater than 20 000 m<sup>3</sup>; or
- c) irrespective of these dimensions, could either cause health hazards or lead to loss of life or damage to property if failure occurs.

8. The Legislation should make it clear that, despite the enforcing powers granted to the Authority to register, license and monitor the development of tailings dams through all their stages, this should not exempt the mining, industrial or other enterprises owning them, from their full responsibility for any accident or prejudice caused directly or indirectly by the failure of their tailings dams or associated with the creation of tailings impoundments, be it loss of life, damage to property or environmental impact. This responsibility should be extended beyond the time of closure if the structures represent a long-term hazard.

9. The Government agency to be permanently responsible for the enforcement of the Legislation (the Authority, or the National Commission itself if the latter's activities are permanently extended) should be administered and directed by a civil engineer experienced in the design and construction of tailings dams and reservoirs and it should employ such clerical, engineering, and other assistance as are necessary for the efficient monitoring and supervision of all phases of tailings dam development in accordance with the Guidelines and the Legislation, including necessary procedures whereby the siting, design, construction, maintenance and operation of the tailings dams would be undertaken under the effective supervision of duly qualified engineers.

10. Mine or industry owners should apply to the Authority for a permit prior to undertaking tailings operations. The application should be duly supported by information on the intended concept and scope, the physical and chemical nature of the tailings, results of surface and subsurface investigations and environmental impact. The supporting information should comply with the requirements of the Guidelines. The Authority could, on its judgment, request further information or impose independent assessment by a third party. Any change brought in the course of operations to the size of the dam or associated impoundment would be subject to further permit application.

11. Owners of tailings dams should notify the Authority in advance of the proposed closure of any tailings operations. The notification should be followed by information on the state of conditions and a description of the rehabilitation procedures. Those should be supported by a certificate of inspection issued by a qualified engineer. The Authority could, on the recommendation of the inspecting

de l'inspection, ou de son propre fait, charger le Maître d'ouvrage de la responsabilité de la surveillance (examen de la stabilité et contrôle des effluents) sur une certaine période après la fermeture et de l'exécution de tous travaux d'entretien et réparations jugés nécessaires pendant cette période. L'Autorité se réserve le droit de procéder, de temps en temps, à des inspections et contrôles indépendants.

12. Tout barrage de stériles pendant toutes ses phases, incluant l'implantation, le projet, la construction, l'exploitation, l'entretien, la fermeture, la restructuration, et après, sera toujours sous le contrôle général technique d'ingénieurs qualifiés représentant le Maître d'ouvrage. Des vérifications peuvent être faites, particulièrement :

- a) à la fin du projet, avant le commencement de la construction;
- b) dès que possible après toutes modifications du projet;
- c) à intervalles réguliers pendant la construction;
- d) immédiatement après achèvement de la construction, et
- e) deux ans après la fermeture et la restructuration.

13. Comme défini par la Législation et ses recommandations, le contrôle général de routine des travaux par les ingénieurs du Maître d'ouvrage doit assurer la sécurité du barrage de stériles et de sa retenue vis-à-vis de pertes en vies humaines, risques pour la santé et dommages aux biens en cas de rupture.

14. La construction de tout barrage de stériles ou toutes modifications significatives de son projet ou des méthodes de construction sont précédées d'un certificat signé à la fois par les ingénieurs du Maître d'ouvrage et de l'Autorité, confirmant que les reconnaissances *in situ*, l'implantation et le projet sont approuvés et que la construction peut commencer.

15. A la fin de l'exploitation et juste après la fermeture et la restructuration, un certificat final sera également établi par les ingénieurs du Maître d'ouvrage et de l'Autorité, attestant que les travaux ont été correctement exécutés, conformément aux plans d'exécution et aux spécifications techniques. Ce certificat doit être accompagné d'une description complète de tout l'aménagement tel qu'il a été construit, en y incluant les dimensions, cotes, géologie de détail du site et propriétés des stériles.

L'Autorité doit considérer la possibilité d'obtenir un engagement pour la fermeture et la restructuration, avant de délivrer le permis de construire.

## CONCLUSIONS

Afin de permettre à l'Autorité de remplir correctement ses fonctions et ses obligations, la Législation lui donne tout pouvoir pour :

- a) demander au Maître d'ouvrage de fournir tous documents relatifs au barrage de stériles;
- b) être autorisé à pénétrer dans la zone du barrage en vue de son inspection et ceci à tout moment;
- c) demander au Maître d'ouvrage d'effectuer des travaux de réparation;
- d) réaliser les travaux de réparation essentiels et urgents toutes les fois que le Maître d'ouvrage n'est pas capable de les exécuter en temps voulu. Dans ce cas, l'Autorité a le pouvoir de récupérer auprès du Maître d'ouvrage le coût de ces travaux.

engineer or its own judgment, make the owner responsible for monitoring (stability assessment, control of effluents) over a period of time from the closure operations, and to undertake any repair or remedial work which could become necessary at any time over that period. The Authority would reserve the right to proceed, from time to time, with independent inspection and controls.

12. The development of any tailings dam through all its phases, including siting, design, construction, operation, maintenance, closure, rehabilitation, and afterwards, should always be under the technical supervision of qualified engineers, representing the owner of the tailings dam. Check may be required, particularly :

- a)* at completion of design, before the start of construction;
- b)* as soon as possible after any alteration of design;
- c)* at regular intervals during construction;
- d)* immediately after construction completion, and
- e)* two years after closure and rehabilitation.

13. The routine supervision of the works by the owner's engineers should ensure, as provided by the Legislation and its Guidelines and through duly recorded recommendations, the safety of the tailings dam and its impoundment against loss of life, health hazards or damage to property.

14. The construction of any tailings dam, or any significant alteration of its design or construction procedure, should be preceded by an Initial Certificate, signed by both the owner's and the Authority's engineers and submitted to the Authority confirming that all the siting and field investigations and all the designs are approved and that construction may start.

15. At the end of operations and just after closure and rehabilitation, a final certificate should also be submitted by the owner's and the Authority's engineers, testifying that the works have been properly executed in accordance with detailed drawings and engineering information. It should be accompanied by a full description of the project as constructed including dimensions, levels, details of the site geology, and properties of the tailings.

The Authority should consider the possibility of securing a bond for closure and rehabilitation, prior to issuing a permit to operate.

## **CONCLUSIONS**

In order to enable the Authority to perform its functions and duties properly, the Legislation should give it full powers to :

- a)* require the owner to produce documents related to its tailings dams;
- b)* be able to enter the tailings dam area for inspection purposes at any time;
- c)* require the owner to carry out remedial work;
- d)* carry out essential and urgent remedial work whenever the owner is unable to do it at the proper time; in such cases the Authority will have the powers to recover from the owner the cost of this remedial work.

Imprimerie de Montlignon  
61400 La Chapelle Montlignon  
Dépôt légal : octobre 1989  
N° 14767  
ISSN 0534-8293  
Couverture : Olivier MAGNA

**Copyright © ICOLD - CIGB**

*Archives informatisées en ligne*  *Computerized Archives on line*

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :  
André Bergeret - 2004*



---

**International Commission on Large Dams  
Commission Internationale des Grands Barrages  
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**  
*<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>*