

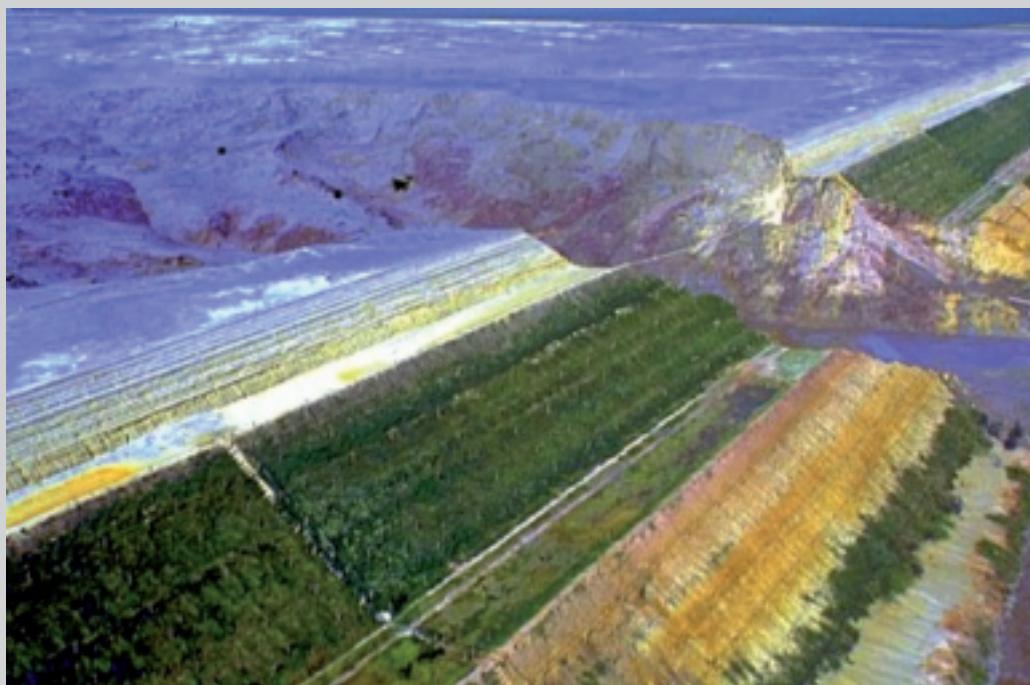
IMPROVING TAILINGS DAM SAFETY

*Critical Aspects of Management, Design,
Operation and Closure*

AMÉLIORER LA SÉCURITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERS

*Aspects critiques de leur gestion, conception,
exploitation et fermeture*

Bulletin 139



IMPROVING TAILINGS DAM SAFETY
AMÉLIORER LA SÉCURITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERS



2011



P N U E

Cover/Couverture :

The cover illustration shows the Merriespruit (South Africa) tailings dam failure, February 1994

L'illustration en couverture représente la rupture du barrage de Merriespruit (Afrique du Sud), en février 1994

AVERTISSEMENT – EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ :

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

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

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

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

NOTICE – DISCLAIMER:

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

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

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

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

Original text in English
French translation by Jean-Pierre Tournier (Canada)
Layout by Nathalie Schauner

*Texte original en anglais
Traduction en français par Jean-Pierre Tournier (Canada)
Mise en page par Nathalie Schauner*

IMPROVING TAILINGS DAM SAFETY

*Critical Aspects of Management, Design,
Operation and Closure*

AMÉLIORER LA SÉCURITÉ DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERS

*Aspects critiques de leur gestion, conception,
exploitation et fermeture*

Commission Internationale des Grands Barrages - 61, avenue Kléber, 75116 Paris
Tél. : (33-1) 47 04 17 80 - Fax : (33-1) 53 75 18 22
E-mail : secretaire.general@icold-cigb.org
Site : www.icold-cigb.net

COMMITTEE ON TAILINGS DAMS

COMITÉ SUR LES BARRAGES ET DÉPÔTS DE STÉRILES
(2001-2007)

Chairman/Président

South Africa/Afrique du Sud J.R.G. WILLIAMSON

Vice Chairman/Vice Président

Brazil/Brésil J. PIMENTA DE AVILA

Members/Membres

Australia/Australie J. PHILLIPS
Bulgaria/Bulgarie C.B. ABADJIEV
Canada H. MCLEOD
Chile/Chili G. NOGUERA
China/Chine HONGBO XIN
Colombia/Colombie A. MARULANDA
Germany/Allemagne K. KAST
Iran M. ASKARI
Poland/Pologne W. WOLSKI
Romania/Roumanie E. LUCA
Russia/Russie A. GALPERIN
Spain/Espagne J. POLIMON LOPEZ
Sweden/Suède A. BJELKEVIK
United-Kingdom/Royaume-Uni M. CAMBRIDGE
United States/États-Unis M. HENDERSON
Venezuela K. DE FRIES

Coopted Members /Membres cooptés

PNUE/UNEP H. JONES
India/Inde V.K. GUPTA

SOMMAIRE

RÉSUMÉ

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION
2. ENGAGEMENT DES SOCIÉTÉS
ET DE LEURS
ADMINISTRATEURS
3. ÉDUCATION ET FORMATION
4. ASPECTS CRITIQUES AYANT
TRAIT À LA CONCEPTION
5. ASPECTS
ENVIRONNEMENTAUX
CRITIQUES
6. ASPECTS CRITIQUES AYANT
TRAIT À L'EXPLOITATION
7. ASPECTS CRITIQUES AYANT
TRAIT À LA FERMETURE
8. GESTION DES RISQUES
9. VÉRIFICATIONS EXTERNES
10. PLAN D'INTERVENTION EN
CAS D'URGENCE
11. LE RÔLE DES ORGANISMES
DE RÉGLEMENTATION
12. TERMINOLOGIE

CONTENTS

SUMMARY

FOREWORD

1. INTRODUCTION
2. CORPORATE AND
MANAGEMENT
COMMITMENT
3. EDUCATION AND TRAINING
4. CRITICAL DESIGN ASPECTS
5. CRITICAL
ENVIRONMENTAL
ASPECTS
6. CRITICAL OPERATION
ASPECTS
7. CRITICAL CLOSURE
ASPECTS
8. RISK MANAGEMENT
9. EXTERNAL AUDITS
10. EMERGENCY
PREPAREDNESS
11. THE ROLE
OF REGULATORS
12. TERMINOLOGY

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	12
AVANT-PROPOS	14
1. INTRODUCTION	16
1.1. Généralités	16
1.2. Bulletins de la CIGB.....	18
1.3. Références.....	20
2. ENGAGEMENT DES SOCIÉTÉS ET DE LEURS ADMINISTRATEURS	22
2.1. Généralités.....	22
2.2. Rôle des sociétés et de leurs administrateurs	22
2.3. Institutions financières	22
2.4. Conclusion.....	24
2.5. Références.....	24
2.6. Lectures complémentaires	26
3. ÉDUCATION ET FORMATION	28
3.1. Généralités	28
3.2. Portée de la formation	28
3.3. Contenu de la formation	30
3.4. Lectures complémentaires	34
4. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À LA CONCEPTION	36
4.1. Généralités	36
4.2. Sélection de la méthode de déposition	36
4.2.1. Autres méthodes de déposition	36
4.2.2. Choix des techniques de déposition	38
4.3. Capacité de stockage et vitesse de montée	40
4.4. Propriétés des matériaux et conditions de charge	42
4.4.1. Introduction	42
4.4.2. Charge de l'eau du bassin pour la conception géotechnique	42
4.5. Conditions géotechniques	44

TABLE OF CONTENTS

SUMMARY	13
FOREWORD	15
1. INTRODUCTION	17
1.1. General	17
1.2. ICOLD Bulletins.....	19
1.3. References.....	21
2. CORPORATE AND MANAGEMENT COMMITMENT	23
2.1. General.....	23
2.2. The Corporate and Management Role	23
2.3. Financial Institutions	23
2.4. Conclusion.....	24
2.5. References.....	24
2.6. Further Reading.....	27
3. EDUCATION AND TRAINING	29
3.1. General	29
3.2. Training Spectrum	29
3.3. Training Scope	31
3.4. Further Reading	35
4. CRITICAL DESIGN ASPECTS	37
4.1. General	37
4.2. Selection of Deposition Method	37
4.2.1. Alternative Deposition Methods	37
4.2.2. Selection of Deposition Techniques	39
4.3. Storage Capacity and Rate of Rise	41
4.4. Material Properties and Loading Conditions	43
4.4.1. Introduction	43
4.4.2. Pool Water Loading for Geotechnical Design	43
4.5. Geotechnical Conditions	45

4.5.1. Généralités	44
4.5.2. Stériles miniers grossiers	44
4.5.3. Stériles miniers fins	46
4.6. Niveaux piézométriques et gradients hydrauliques	48
4.6.1. Géométrie de la construction	48
4.6.2. Détermination de la surface de la nappe phréatique	48
4.6.3. Perméabilité	50
4.6.4. Analyse de la percolation	52
4.6.5. Charges statiques	54
4.6.6. Charge des stériles sur le barrage	54
4.7. Liquéfaction statique	54
4.8. Liquéfaction dynamique	58
4.9. Gel et charges géochimiques reliées	62
4.9.1. Effets du gel et du dégel	62
4.9.2. Charges géochimiques.....	64
4.10. Charges associées aux risques géologiques	66
4.11. Charges sismiques	68
4.12. Conception de la fermeture	68
4.12.1. Introduction	68
4.13. Conception du bilan hydrique	68
4.13.1. Introduction	68
4.13.2. L'équation du bilan hydrique	68
4.13.3. Stockage du bassin du parc à résidus miniers	72
4.13.4. Critères de dimensionnement concernant les crues	72
4.13.5. Revanche	74
4.13.6. Longueur de la plage	74
4.13.7. Installations de décantation	76
4.13.8. Barrage de stockage externe des eaux de crue	78
4.14. Filtres et drainage	78
4.14.1. Généralités	78
4.15. Références	78
4.16. Lectures complémentaires	82
5. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX CRITIQUES	86
5.1. Généralités	86
5.2. Considérations environnementales	86

4.5.1. General	45
4.5.2. Coarse Tailings	45
4.5.3. Fine Tailings	47
4.6. Piezometric Levels and Hydraulic Gradients	49
4.6.1. Geometry of Construction	49
4.6.2. Phreatic Surface Determination	49
4.6.3. Permeability	51
4.6.4. Seepage Analysis	53
4.6.5. Static Loading	55
4.6.6. Tailings Load on the Dam	55
4.7. Static Liquefaction	55
4.8. Dynamic Liquefaction	59
4.9. Freezing and Geochemical Related Loadings	63
4.9.1. Freezing and Thawing Effects	63
4.9.2. Geochemical Loadings	65
4.10. Geohazard Loading	67
4.11. Seismic Loading	69
4.12. Designing for Closure	69
4.12.1. Introduction	69
4.13. Water Balance Design	69
4.13.1. Introduction	69
4.13.2. The Water Balance Equation	69
4.13.3. TSF Pool Storage	73
4.13.4. Flood Design Criteria	73
4.13.5. Freeboard	75
4.13.6. Beach Length	75
4.13.7. Decant Facilities	77
4.13.8. External Flood Water Storage Dam	79
4.14. Filters and Drainage	79
4.14.1. General	79
4.15. References	79
4.16. Further Reading	83
5. CRITICAL ENVIRONMENTAL ASPECTS	87
5.1. General	87
5.2. Environmental Considerations	87

5.3. Construction	92
5.4. Exploitation	92
5.5. Lectures complémentaires	92
6. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À L'EXPLOITATION	96
6.1. Généralités	96
6.2. Construction préalable à la déposition	96
6.3. Gestion de l'exploitation	96
6.4. Surveillance d'un barrage de stériles miniers	98
6.5. Gestion de la déposition	100
6.6. Gestion des eaux d'exploitation	100
6.7. Lectures complémentaires	102
7. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À LA FERMETURE	104
7.1. Généralités	104
7.2. Introduction	104
7.3. Affectation des terres postexploitation	108
7.4. Procédure de planification de la fermeture	108
7.5. Confinement à long terme des matériaux des stériles	112
7.6. Stabilité physique des barrages de stériles miniers	114
7.6.1. Stabilité de la pente	114
7.6.2. Phénomènes extrêmes	114
7.6.3. Processus de lente détérioration	116
7.7. Méthodes de restauration des barrages de stériles miniers	116
7.8. Critères esthétiques	118
7.8.1. Modelé	118
7.8.2. Végétation	118
7.9. Références	120
7.10. Lectures complémentaires	122
8. GESTION DES RISQUES	126
8.1. Cotes de danger	126
8.2. Techniques d'analyse des risques	128
8.3. Analyse de gestion des risques	128
8.4. Évaluation des risques	130
8.5. Plan de gestion des risques	132

5.3. Construction	93
5.4. Operations	93
5.5. Further Reading	93
6. CRITICAL OPERATION ASPECTS	97
6.1. General	97
6.2. Pre-deposition Construction	97
6.3. Operation Management	97
6.4. Tailings Dam Surveillance	99
6.5. Deposition Management	101
6.6. Operational Water Management	101
6.7. Further Reading	103
7. CRITICAL CLOSURE ASPECTS	105
7.1. General	105
7.2. Introduction	105
7.3. Post-operational Land Use	109
7.4. Closure Planning Procedure	109
7.5. Long term Containment of Tailings Material	113
7.6. Physical Stability of Tailings Dams	115
7.6.1. Slope Stability	115
7.6.2. Extreme Events	115
7.6.3. Slow Deterioration Processes	117
7.7. Methods for Tailings Dam Remediation	117
7.8. Aesthetics	119
7.8.1. Landform	119
7.8.2. Revegetation	119
7.9. References	121
7.10. Further Reading	123
8. RISK MANAGEMENT	127
8.1. Hazard Rating	127
8.2. Risk Analysis Techniques	129
8.3. Risk Management Analysis	129
8.4. Risk Evaluation	131
8.5. Risk Management Plan	133

8.6. Risques résiduels (plan d’alerte)	134
8.7. Références	134
8.8. Lectures complémentaires	134
9. VÉRIFICATIONS EXTERNES	136
9.1. Généralités	136
9.2. Fréquence des vérifications	138
9.3. Portée de la vérification	138
9.4. Exigences actuelles de divers pays	140
9.5. Lectures complémentaires	144
10. PLAN D’INTERVENTION EN CAS D’URGENCE	146
10.1. Généralités	146
10.2. Éléments d’un plan d’intervention en cas d’urgence	146
10.3. Références	148
10.4. Lectures complémentaires	148
11. LE RÔLE DES ORGANISMES DE RÉGLEMENTATION	152
11.1. Généralités	152
11.2. Questions de réglementation	152
11.2.1. Objectifs de la réglementation	152
11.2.2. Mise en application	154
11.2.3. Cote de danger (ou conséquences)	156
11.3. Approche proposée à la réglementation	156
11.3.1. Phase d’approbation	156
11.3.2. Phase de construction	158
11.3.3. Phase d’exploitation	158
11.3.4. Phase de fermeture	158
11.4. Références	158
11.5. Lectures complémentaires	160
12. TERMINOLOGIE	162
12.1. Généralités	162
12.2. Glossaire	162
12.3. Documents définissant les termes liés à l’objet du présent Bulletin ..	168

8.6. Residual Risk (Contingency Plan)	135
8.7. References	135
8.8. Further reading	135
9. EXTERNAL AUDITS	137
9.1. General	137
9.2. Audit Frequency	139
9.3. Audit Scope	139
9.4. Current Requirements in Different Countries	141
9.5. Further Reading	145
10. EMERGENCY PREPAREDNESS	147
10.1. General	147
10.2. Components of an EPP	147
10.3. References	149
10.4. Further Reading	149
11. THE ROLE OF REGULATORS	153
11.1. General	153
11.2. Regulation Matters	153
11.2.1. Purpose of Regulations	153
11.2.2. Implementation	155
11.2.3. Hazard (or Consequence) Rating	157
11.3. Suggested Regulatory Approach	157
11.3.1. Approval Phase	157
11.3.2. Construction Phase	159
11.3.3. Operating Phase	159
11.3.4. Closure Phase	159
11.4. References	159
11.5. Further reading	161
12. TERMINOLOGY	163
12.1. General	163
12.2. Glossary	163
12.3. Documents defining terms related to the subject of this Bulletin	169

RÉSUMÉ

Le présent Bulletin aborde les sujets suivants dans l'analyse des aspects critiques pour améliorer la sécurité des barrages de stériles miniers :

- L'engagement des sociétés et de leurs administrateurs dans l'ensemble des processus de conception des barrages de stériles miniers, de leur gestion et de leur exploitation.
- L'éducation et la formation du personnel des sociétés minières, y compris les membres de leur conseil d'administration, de la haute direction, les superviseurs et les employés sur le terrain.
- Les facteurs-clés ayant trait à la conception d'un barrage de stériles miniers pour en assurer la stabilité et la sécurité à long terme. Ceux-ci comprennent les aspects d'importance critique comme le bilan hydrologique, la sélection du site et des techniques de décantation des stériles plus adéquats, la stabilité, les filtres et le drainage, ainsi que les plans de fermeture.
- Les critères essentiels à considérer lors de la conception et de la réalisation de la fermeture définitive d'un barrage de stériles miniers, devant se démontrer stables et acceptables d'un point de vue environnemental à long terme.
- La gestion du risque.
- La nécessité de vérifications externes régulières durant les phases d'exploitation et de postfermeture du barrage.
- Certains commentaires sur le rôle positif joué par les organismes de réglementation de l'industrie.

Le présent document conclut qu'une attention prudente envers ces aspects critiques permettra d'améliorer la sensibilisation à leur égard et de diminuer le nombre d'incidents menaçant la sécurité des barrages de stériles miniers.

SUMMARY

In considering the critical aspects required to improve tailings dam safety, the following subjects are addressed in this Bulletin :

- Corporate and Management Commitment to the overall tailings dam design, management and operation process.
- Education and training of company staff, including Board members, senior management, supervisors and operators.
- Critical aspects relating to the design of a tailings dam to ensure long term stability and safety. These include aspects of critical importance such as the dam water balance, selection of the most appropriate site and tailings deposition technique, stability, filters and drainage and designing for closure.
- Critical aspects to be considered when designing for and implementing the final closure of a tailings dam which must be stable and environmentally acceptable in the long term.
- Risk management.
- The essential need for regular external audits during the operational phase and post closure life of the dam.
- Some notes on the positive role that is played by industry regulators.

The conclusion reached in the document is that diligent attention to these critical aspects will result in improved awareness and a lowering of safety incidences for tailings dams.

AVANT-PROPOS

Le Bulletin 121 de la CIGB et du PNUE : « Tailings Dams : Risk of Dangerous Occurrences : Lessons learnt from Practical Experiences » (2001), préparé par le Comité sur les barrages de stériles miniers de la CIGB sous la présidence de Arthur Penman, Ph.D., est le dernier Bulletin ayant trait à ce type de barrage.

Ce document constatait le taux inquiétant d'incidents mettant en cause la sécurité des barrages de stériles miniers qui, à l'époque, se produisaient au rythme de deux par année.

Cette conclusion a amené les comités à considérer qu'une étude portant sur les facteurs pouvant améliorer la sécurité des barrages de stériles miniers était nécessaire, d'où la réalisation du présent Bulletin.

Les nombreux éléments permettant d'accroître la sécurité des barrages de stériles miniers ont été rassemblés grâce aux efforts collectifs des membres de comités d'experts provenant de dix-neuf pays aux quatre coins du monde. Le texte est le fruit d'un travail d'équipe réalisé par le Comité suédois national sur les barrages de stériles miniers. Il a bénéficié des commentaires constructifs d'autres pays et organisations comme le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) et le Conseil international des mines et métaux (ICMM en anglais).

Il convient de souligner particulièrement les contributions précieuses apportées au texte par tous les membres du comité, et plus spécialement par Madame Annika Bjelkevik (Suède), par Messieurs Joaquim Pimenta de Avila (Brésil), Harvey McLeod (Canada), John Phillips (Australie), par le professeur Christo Abadjiev (Bulgarie) et par Monsieur Hugh Jones du PNUE, qui ont également participé au financement de la publication du Bulletin.

Le Comité sur les barrages de stériles miniers de la CIGB espère sincèrement que le présent Bulletin fera l'objet d'une lecture approfondie par tous les intervenants de l'industrie de l'élimination des résidus miniers et que, par conséquent, il aura un effet positif pour améliorer la sécurité des barrages de stériles miniers aux quatre coins du monde.

JRG WILLIAMSON
Président,
Comité sur les Barrages de Stériles Miniers

FOREWORD

The previous bulletin relating to tailings dams prepared by the ICOLD Tailings Dam Committee under the chairmanship of Dr Arthur Penman was ICOLD/UNEP Bulletin 121 : “Tailings Dams : Risk of Dangerous Occurrences : Lessons learnt from Practical Experiences” (2001).

This bulletin highlighted the unsatisfactory rate of tailings dam incidences, which at that time were being recorded at two per year.

This led to the committees considered need for a study into the factors that apply in improving tailings dam safety, hence the Bulletin now presented.

The many factors relating to improvement of tailings dam safety have been assembled by the collective input of expert committee members from nineteen countries of the world. The text has been work-shopped by the Swedish National Committee on tailings dams and has received constructive input from other countries and organisations such as UNEP (United Nations Environmental Programme) and ICMM (International Council on Mining and Metals).

Special mention must be made of the valuable inputs to the text made by all the committee members, and particularly the inputs by Ms Annika Bjelkevik (Sweden), Messrs Joaquim Pimenta de Avila (Brazil), Harvey McLeod (Canada), John Phillips (Australia), Professor Christo Abadjiev (Bulgaria) and Mr Hugh Jones of UNEP, who have also contributed to the cost of publication of the Bulletin.

It is the expressed hope of the ICOLD Tailings Dam Committee that this Bulletin will be carefully read by all of those involved in the tailings disposal industry and that it will thereby have a positive benefit in improving tailings dam safety throughout the world.

JRG WILLIAMSON
Chairman,
Committee on Tailings Dams

1. INTRODUCTION

1.1. GÉNÉRALITÉ

Le rôle que jouent les secteurs miniers et industriels à l'égard du développement durable fait l'objet d'une attention accrue, et les responsabilités sociales et environnementales de ces secteurs, ainsi que leur sensibilisation envers ces questions, sont de plus en plus marquées.

Les incidents et les ruptures de barrages de stériles miniers, qui ont lieu de façon persistante, ont sans doute grandement contribué à cette nouvelle attention. Des incidents majeurs continuent de se produire à une moyenne à long terme supérieure à un épisode par année.

Bien qu'ils puissent faire appel à certaines descriptions techniques primaires communes, les barrages de stériles miniers se distinguent des autres ouvrages de retenue des eaux sous plusieurs aspects fondamentaux. C'est pourquoi leur planification, leur conception, leur construction et leur exploitation, de même que leur phase d'auscultation, exigent une approche spécialisée et unique.

Une des différences principales consiste dans la phase de construction (décantation) d'un barrage de stériles miniers, se poursuivant pendant toute la durée d'exploitation du barrage, et se prolongeant parfois pendant vingt ou trente ans et même plus. De nombreux paramètres de conception originaux peuvent changer durant cette période, ce qui fait en sorte que le projet exige une révision constante et fréquente de son concepteur et d'experts indépendants.

La publication du Bulletin 121 de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) « Tailings Dams: Risk of Dangerous Occurrences » (2001) a fait la lumière sur cette situation, présentant des détails d'accidents et de ruptures. Ses auteurs sont arrivés à la conclusion qu'il est possible d'obtenir une réduction des risques avec un rapport coût/efficacité satisfaisant; pour ce faire, les technologies d'ingénierie existantes doivent être appliquées de façon adéquate à la conception, à la construction, à l'exploitation et à la fermeture des barrages de stériles miniers. Par ailleurs, les analyses démontrent que bon nombre des incidents qui se sont produits auraient pu être évités.

Le Comité sur les Barrages et Dépôts de Stériles de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) regroupe des spécialistes en barrages de stériles miniers provenant de dix-neuf pays. Ce comité a, au cours des vingt dernières années, publié dix Bulletins prenant la forme de recommandations permettant une conception, une construction, et une exploitation sûres de ce type de barrages. La liste des Bulletins pertinents est présentée dans les références de la présente section.

D'autres organisations comme le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), le Conseil International des Mines et Métaux, diverses agences gouvernementales et nationales, des organismes de réglementation et de nombreuses conférences sur le sujet ont également assuré la publication d'excellents

1. INTRODUCTION

1.1. GENERAL

The mining and industrial sectors' role in sustainable development is under increasing scrutiny, and their social and environmental responsibilities and awareness are increasing.

A significant contributing factor to this scrutiny is the ongoing persistent occurrence of tailings dam incidents and failures. Major incidents continue at a long-term average of more than once a year.

Tailings dams, while they may involve some of the same primary technical descriptions, are different from water storage dams in many primary ways, and therefore must be approached in the planning, design, construction and operation and monitoring phases as requiring specialised, unique treatment.

One of the primary differences is the construction (deposition) phase of a tailings dam, which continues for the operating life of the tailings dam, sometimes lasting as long as twenty or thirty years or even longer. Many of the original design parameters may change during this period, thereby requiring constant and frequent review by the designer and by independent reviewers.

The publishing of International Commission on Large Dams (ICOLD) Bulletin 121: Tailings Dams: Risk of Dangerous Occurrences (2001) highlighted the situation, provided details of accidents and failures and concluded that cost effective risk reduction can be achieved by adequate application of available engineering technology to the design, construction, operation and closure of tailings dams. Moreover, analysis showed that many of the incidents, which have occurred, could have been preventable.

The International Commission on Large Dams (ICOLD) Committee on Tailings Dams and Waste Lagoons is comprised of tailings dam specialists from nineteen countries. The Committee has, over the past twenty years, produced ten Bulletins in the form of guidelines for the safe design, construction and operation of tailings dams. A list of relevant Bulletins is included in the References for this section.

Other organisations such as United Nations Environmental Protection (UNEP), International Council of Mining and Metals (ICMM), various Government and National agencies, regulatory authorities, and many conferences on the subject have also published excellent papers on tailings dam safety. Of

documents concernant la sécurité des barrages de stériles miniers. Les références *APELL for mining* du PNUE (2001) et le site Web du Conseil International des Mines et Métaux s'avèrent particulièrement pertinents.

Le présent Bulletin complète les Bulletins précédents de la CIGB et il devrait être lu en conjonction avec ceux-ci.

Le présent Bulletin met en lumière les facteurs primaires et critiques que le Comité considère essentiels pour améliorer la sécurité des barrages de stériles miniers :

- l'engagement des sociétés et de leurs administrateurs;
- l'éducation et la formation;
- les aspects critiques de la conception;
- les facteurs environnementaux;
- les aspects de l'exploitation;
- la fermeture d'un barrage de stériles miniers;
- la gestion de la qualité et du risque;
- les vérifications externes;
- les plans d'intervention en cas d'urgence;
- le rôle des organismes de réglementation.

Le Bulletin propose en outre des sources d'information sur les bonnes pratiques concernant divers sujets associés à l'élimination des résidus miniers. Il présente également des textes détaillés dans les divers chapitres pour aider à mieux approfondir des aspects qui n'ont pas été entièrement couverts dans les Bulletins précédents de la CIGB.

De ce fait, on espère que le présent Bulletin servira d'outil pour l'industrie des barrages de stériles miniers, stimulant la réflexion des administrateurs des sociétés, représentant une source de référence consolidée et offrant des recommandations à l'intention des gestionnaires, des concepteurs et des employés sur le terrain, dans la perspective d'améliorer la sécurité des barrages de stériles miniers.

Le Comité sur les Barrages de Stériles Miniers de la CIGB a collaboré avec le Conseil International des Mines et Métaux, en vue de produire une liste de références sur les bonnes pratiques concernant la gestion des stériles miniers, consultable sur le Web.

La terminologie utilisée dans le présent Bulletin est définie au chapitre 12 : Terminologie.

1.2. BULLETINS DE LA CIGB

Les Bulletins suivants de la CIGB complètent le présent document et ils devraient également être consultés sur le site de la CIGB.

- 44a : Bibliographie - Barrages et dépôt de stériles miniers et industriel (1982 à 89)

particular relevance is UNEP's APELL for mining (UNEP, 2001) and ICMM's.

This Bulletin is complementary to previous ICOLD Bulletins, and should be read in conjunction with them.

This Bulletin highlights the primary and critical factors that the Committee considers essential towards improving Tailings Dam Safety, namely:

- Corporate and Management Commitment
- Education and Training
- Critical Design Aspects
- Environmental Aspects
- Operational Aspects
- Tailings Dam Closure
- Quality and Risk Management
- External Audits
- Emergency Preparedness
- Role of Regulators

The Bulletin also provides sources of reference for good practice in various subjects associated with tailings disposal, and furthermore, provides detailed texts in the several chapters, to amplify a subject not fully covered in previous ICOLD Bulletins.

By doing this, it is hoped that this Bulletin will provide a tool for the tailings dam industry that provides stimulation to corporate management and a consolidated source reference and specific guidelines to managers, designers and operators with a view to increasing tailings dam safety.

The ICOLD Tailings Dam Committee has co-operated with ICMM, the International Council on Mining and Metals, to produce a web-based list of good practice references on tailings.

The terminology used in this Bulletin is set out in Chapter 12: Terminology.

1.2. ICOLD BULLETINS

The following ICOLD Bulletins are complementary to this Bulletin and should also be referred to: (www.icold-cigb.org):

- 44a: Bibliography - Mine and Industrial Tailings Dams and Dumps (1982 - 89)

- 74 : Sécurité des barrages de stériles - Recommandations (1989)
- 97 : Barrages de stériles - Conception du drainage (1994)
- 98 : Barrages de stériles et sismicité - Synthèse et recommandations (1995)
- 101 : Barrages de stériles. Transport - Mise en place - Décantation - Synthèse et recommandations (1995)
- 103 : Barrages de stériles et environnement - Synthèse et recommandations (1996)
- 104 : Auscultation des barrages de stériles - Synthèse et recommandations (1996)
- 106 : Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation (1996)
- 121 : Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences - Lessons Learnt From Practical Experiences (2001)

1.3. RÉFÉRENCES

UNEP 2001 (PNUE - PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT). *Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness at Local Level.*

ICMM 2005 (CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET METAUX). *Good Practice in Mining.*

- 74: Tailings Dam Safety Guidelines (1989)
- 97: Tailings Dam - Design of Drainage (1994)
- 98: Tailings Dams and Seismicity - Review and Recommendations (1995)
- 101: Tailings Dams, Transport, Placement and Decantation - Review and Recommendations (1995)
- 103: Tailings Dams And Environment - Review and Recommendations (1996)
- 104: Monitoring of Tailings Dams - Review and Recommendations (1996)

- 106: A Guide to Tailings Dams and Impoundments - Design, Construction, Use and Rehabilitation (1996)
- 121: Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences - Lessons Learnt From Practical Experiences (2001)

1.3. REFERENCES

UNEP 2001 (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). *Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness at Local Level.*

ICMM 2005 (INTERNATIONAL COMMITTEE ON MINING AND METALS). *Good Practice in Mining.*

2. ENGAGEMENT DES SOCIÉTÉS ET DE LEURS ADMINISTRATEURS

2.1. GÉNÉRALITÉS

Le soutien des sociétés et de leurs administrateurs pour les activités d'élimination des résidus miniers est considéré comme crucial pour la sécurité et la réussite de l'ensemble de ces activités. La présente section du Bulletin souligne cet aspect.

2.2. RÔLE DES SOCIÉTÉS ET DE LEURS ADMINISTRATEURS

Un problème fondamental repose dans le fait que les stériles miniers représentent des déchets, devant être éliminés après que les minéraux précieux ont été extraits ou que les avantages désirés du produit brut d'origine ont été obtenus. Les coûts liés à la conception, à la construction, à l'exploitation et à la réhabilitation des parcs à résidus miniers n'offrent donc aucune rentabilité financière directe. Par conséquent, la tentation est forte de comprimer les dépenses en capital au minimum, d'abattre les frais d'exploitation et de limiter au minimum ou de négliger les contributions au fonds de fermeture. Il a été démontré que, dans certains cas, ces facteurs ont contribué aux mauvais résultats des barrages de stériles en matière de ruptures et d'incidents.

Cette approche visant à réduire les investissements est fautive. Les coûts liés aux réclamations, poursuites, fermetures, réparations et à la chute du cours des actions d'une société en cas d'incident ou de rupture grave sont grandement supérieurs à toute « économie » pouvant avoir été réalisée à cette étape. La rupture d'un barrage de stériles miniers quelque part sur la planète de nos jours a rapidement un impact non seulement sur les activités de la société concernée, mais également sur toute l'industrie minière en général. Il s'agit d'un thème récurrent abordé lors des conférences récentes. En outre, des campagnes de sensibilisation sont menées aux quatre coins du monde par le PNUE, le Conseil International des Mines et Métaux, le projet MMDD, le Forum Mondial des Ministères des Mines (FMMM), le Fonds Mondial pour la Nature (WWF) et le Sommet Mondial sur le Développement Durable de 2002. Ces organisations visent à pousser les secteurs miniers et industriels à adopter une forme de développement sûr et durable, ayant parmi ses objectifs la plus grande sécurité des barrages de stériles miniers.

Le rôle des sociétés minières et de leurs administrateurs est, par conséquent, décisif en vue de parvenir à une meilleure sécurité des barrages de stériles miniers. Si les conseils d'administration et les administrateurs ne s'engagent pas de façon transparente, les normes de conception, de construction, d'exploitation et de fermeture seront inférieures à ce qui est requis pour assurer la sûreté et la sécurité.

2.3. INSTITUTIONS FINANCIÈRES

Pour faire valoir la nécessité d'un engagement des administrateurs des sociétés minières en vue d'augmenter la sécurité des barrages de stériles miniers, un autre

2. CORPORATE AND MANAGEMENT COMMITMENT

2.1. GENERAL

Corporate and Management support for the tailings disposal operations of a process are seen as being critical to the ongoing safety and success of the entire business operation. This section of the bulletin highlights this point.

2.2. THE CORPORATE AND MANAGEMENT ROLE

A fundamental issue is that tailings are a waste product, left to be disposed after valuable minerals have been extracted or the desired benefit from the original raw product has been obtained. There is no direct financial return from the cost of design, construction, operation and rehabilitating the tailings storage facility. The continuous temptation is to cut capital expenditure to the minimum, to reduce operating costs and minimise or neglect contributions to closure funds. This has been shown in some cases to be a contributing factor to the poor record of tailings dam failures and incidents.

The restrictive expenditure approach is flawed. The cost of claims, law suites, closure, repairs and the loss of Company share value after a serious incident or failure far outweighs any “savings” made. The failure of a tailings dam in one part of the world is now quickly impacting not only on all other operations of the company concerned, but also on mining in general. This is a recurring theme in recent conferences, and in the increased awareness being raised throughout the world by UNEP, ICMM, the MMSD Project, the World Mines Ministries Forum (WMMF), the World Wildlife Fund (WWF) and the World Summit on Sustainable Development, 2002. These organisations are focusing the Mining and Industrial sectors towards safe, sustainable development, which includes increased safety for tailings dams.

The Corporate and Management role is therefore crucial in achieving a safer status for tailings dams. Without transparent Board and managerial commitment, standards of design, construction, operation and closure will be lower than required for surety and safety.

2.3. FINANCIAL INSTITUTIONS

In promoting the need for corporate management commitment to the task of increasing tailings dam safety, a further significant factor to consider is the role and

facteur non négligeable est le rôle et l'influence croissante que les institutions financières ont à cet égard. Afin de mieux gérer leurs propres risques financiers et leur réputation en cas de rupture d'un barrage de stériles miniers, les établissements financiers exercent de plus en plus de pressions pour que les sociétés s'engagent à améliorer la sécurité. Ces établissements sont réticents à financer de nouveaux projets sans un tel engagement.

2.4. CONCLUSION

On dit que les barrages de stériles miniers représentent généralement la plus grande responsabilité environnementale associée aux activités d'exploitation minière (« *tailings dams typically represent the most significant environmental liability associated with mining operations* », Martin et Davies, 2000). En revanche, Martin et Davies soulignent également que l'on constate une tendance encourageante dans la gérance des parcs à résidus miniers de la part des plus importantes sociétés minières, qui dénote une tentative d'amélioration active de leurs pratiques.

Trois facteurs indéniables distinguent les grandes sociétés des autres au sein de l'économie mondiale :

- un leadership d'excellence;
- la construction de l'organisation, grâce à de bons systèmes de gestion et à une participation active des employés;
- la création de talent, par l'entremise de programmes de développement et de formation.

La constance en matière de bonnes pratiques et de discipline est seulement possible si la direction donne l'exemple. Il est donc nécessaire que ce soit les sociétés et leurs dirigeants qui s'engagent envers le principe que tout nouveau développement ou que les exploitations existantes doivent être abordées de manière responsable, socialement et environnementalement.

Une fois le mouvement amorcé, les attitudes et l'approche de l'ensemble des employés des sociétés suivront le pas, à tous les niveaux du personnel de gestion, de conception et d'exploitation.

Lorsqu'une telle culture d'entreprise sera établie, on croit que les notions d'ingénierie éprouvées seront appliquées avec détermination, à l'échelle de la structure de la société, à la conception, à la construction, à l'exploitation et au suivi, pour une amélioration de la sécurité et dans la réalisation d'un parc à résidus miniers.

Une fois tous ces objectifs atteints, il est certain qu'une plus grande sécurité des activités d'entreposage des résidus miniers en découlera. De ce fait, les risques pour les vies humaines et pour l'environnement seront réduits considérablement, établissant ainsi des conditions favorables à la croissance de la valeur des actions des sociétés.

2.5. RÉFÉRENCES

MARTIN, T.E. ET DAVIES M.P., (2000). *Trends in the Stewardship of Tailings Dams*. Proceedings of Tailings and Mine Waste '00, Balkema.

increasing influence that financial institutions have on the subject. In order to control their own financial risk and reputation should a tailings dam fail, there is increasing pressure from finance houses for commitment to increased safety as well as a reluctance to fund new projects without such commitment.

2.4. CONCLUSION

It is said (Martin and Davies, 2000) that "tailings dams typically represent the most significant environmental liability associated with mining operations". However, Martin and Davies also positively state that there is an encouraging trend in the stewardship of tailings facilities by major mining companies who are seen to be actively improving the state of the practice.

There are three obvious factors that differentiate great companies from others in the world economy:

- High Performance Leadership,
- Organization building, through good management systems and dedicated employee participation, and
- Talent creation by means of development programs and training

Application of good practice and discipline can only be consistently achieved if it is led from the top. Corporate and management commitment to the principle of undertaking any new development or existing operation with full social and environmental responsibility is where the lead must come from.

Once this lead is established, the attitude and approach of the full range of company employees will follow, through all levels of management to design and operating personnel.

Once the company culture is established in this way, it is believed that application of well-established engineering principles for the design, construction, operation, monitoring for safety improvement and completion of a tailings facility will be undertaken with commitment throughout the company's structure.

Once all of this is achieved, it is certain that safer tailings disposal operations will be the result, with significantly reduced risk to human life and the environment, thus setting the conditions for improved company share value.

2.5. REFERENCES

MARTIN, T.E. AND DAVIES M.P., (2000). *Trends in the Stewardship of Tailings Dams*. Proceedings of Tailings and Mine Waste '00, Balkema.

2.6. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Pour en savoir plus au sujet des comités sur les sociétés et leurs administrations, il est recommandé de consulter les références suivantes :

HAMANN, R. (2001). *Mining Companies' Role in Sustainable Development: The 'Why' and 'How' of Corporate Responsibility*: Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa.

Code international de gestion du cyanure

UNEP (2001). (PNUE - PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT) *Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness at Local Level*.

Mining and Sustainable Development II: Challenges and Perspectives. Publié en janvier 2001.

OTTO, J. ET CORDES, J. (2000). *Sustainable Development and the Future of Mineral Investment*.

UNEP (PNUE - PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT PNUE)/STANDARD BANK ET MINERAL RESOURCES FORUM (MRF) (2002). *The Role of Financial Institutions in Sustainable Mineral Development*.

MRF (2001 et 2002). *Mining Resources Forum Finance, Mining and Sustainable Development*.

ICMM (2002) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX, Chairman's speech, 21 May 2002. BMI Conference.

ICMM (2002,) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX, Toronto Declaration 15 May 2002.

ICMM (2002) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX, Implementation Process, Toronto Declaration 24 May 2002.

ICMM (2002) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX *Progress in Contributing to Sustainable Development Working Paper*, 27 February 2002. The Mining and Metals Industries.

ICMM (1997) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX *Managing the Risks of Tailings Disposal* May 1997. Proceedings of the International Workshop, Stockholm.

ICMM (2000) CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX *Southern Africa Workshop on Sustainable Development and the Mining and Metal Industries* November 2000. Pretoria.

Chronology of Major Tailings Dam Failure.

2.6. FURTHER READING

Recommended further reading on the subject of Corporate and Management Committees as follows:

HAMANN, R. (2001). *Mining Companies' Role in Sustainable Development: The 'Why' and 'How' of Corporate Responsibility: Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa.*

International Cyanide Management Code

UNEP (2001). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME *Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness at Local Level.*

Mining and Sustainable Development II: Challenges and Perspectives. Published January 2001.

OTTO, J. AND CORDES, J. (2000). *Sustainable Development and the Future of Mineral Investment.*

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP)/STANDARD BANK AND MINERAL RESOURCES FORUM (MRF) (2002). *The Role of Financial Institutions in Sustainable Mineral Development.*

MRF (2001 AND 2002). *Mining Resources Forum Finance, Mining and Sustainable Development.*

ICMM (2002) INTERNATIONAL COMMITTEE ON MINING AND METALS, Chairman's speech 21 May 2002. BMI Conference.

ICMM (2002) INTERNATIONAL COMMITTEE ON MINING AND METALS, Toronto Declaration 15 May 2002.

ICMM (2002) INTERNATIONAL COMMITTEE ON MINING AND METALS Implementation Process Toronto Declaration 24 May 2002.

ICMM (2002) INTERNATIONAL COMMITTEE ON MINING AND METALS *Progress in Contributing to Sustainable Development Working Paper 27 February 2002. The Mining and Metals Industries.*

ICMM (1997) *Managing the Risks of Tailings Disposal May 1997. Proceedings of the International Workshop, Stockholm.*

ICMM (2000) *Southern Africa Workshop on Sustainable Development and the Mining and Metal Industries November 2000. Pretoria.*

Chronology of Major Tailings Dam Failures.

3. ÉDUCATION ET FORMATION

3.1. GÉNÉRALITÉS

La présente section aborde l'éducation et la formation de tous les membres du personnel, y compris les exploitants des projets. Les exploitants doivent toujours embaucher des organisations et des personnes hautement qualifiées et ayant beaucoup d'expérience, aptes à porter la responsabilité de la conception, de la construction, de l'exploitation et de la supervision de la sécurité du barrage de stériles miniers.

La formation continue des employés représente une formule reconnue et qui a fait ses preuves pour le succès d'une société.

Celle-ci peut prendre la forme d'éducation en milieu de travail par la tenue régulière de colloques et de cours, ou encore au parrainage de cours d'éducation continue, destinés à tous les niveaux de la hiérarchie, de la direction jusqu'au personnel d'exploitation.

3.2. PORTÉE DE LA FORMATION

La formation doit s'appliquer à toutes les personnes participant aux activités d'élimination des stériles miniers, c'est-à-dire :

- Aux membres du conseil d'administration : pour s'assurer qu'ils possèdent une bonne compréhension des processus de gestion et d'entreposage des stériles miniers et des responsabilités associées aux barrages de stériles miniers, ainsi que des conséquences que les incidents ou les ruptures touchant le barrage ou l'environnement pourraient avoir sur les finances et l'entreprise en général.
- Aux membres de la haute direction : même chose que ce qui précède, en plus de confirmer qu'ils comprennent bien la nécessité des mécanismes de formation, de sécurité, de mise en place de procédures, de contrôle de la qualité et de vérification.
- Aux superviseurs : pour leur garantir une connaissance approfondie des modalités techniques de gestion et d'entreposage des stériles miniers, c'est-à-dire :
 - des bases et des paramètres de conception;
 - de la gestion des eaux, des systèmes de contrôle des eaux pluviales et des systèmes de décantation, ainsi que des conséquences que cela pourrait avoir si ces éléments n'étaient pas adéquats;
 - de la revanche, ainsi que des répercussions que cela pourrait avoir si celle-ci n'était pas adéquate;
 - des contraintes et des préoccupations environnementales;
 - des processus de dépôt;

3. EDUCATION AND TRAINING

3.1. GENERAL

This section covers education and training of all personnel including the owners of projects. It is necessary that owners always engage fully qualified and experienced organisations and individuals able to take responsibility for the design, construction, operation and safety monitoring of the tailings dam.

Ongoing education of the employees of a company is a known and proven formula for company success.

This can extend from on-the-job instruction through regular attendance at conferences and lectures, to sponsorship of courses in further education, applied to all levels, from management to operator.

3.2. TRAINING SPECTRUM

Training requires application across the full spectrum of individuals involved in a tailings disposal operation, namely:

- At Board level: to ensure that a full understanding of the tailings disposal process is gained and to ensure that tailings dam liabilities and the financial and corporate consequences of dam or environmental incidents or failures are understood.

- At Senior Management level: to ensure the same as above, and to initiate understandings of the need for training, safety, establishment of procedures, quality control and review mechanisms.

- At Supervisor level: to ensure that an intimate understanding of the technicalities of tailings disposal are gained, namely:
 - design basis and design parameters
 - water management, stormwater control systems and decant systems, and the consequences of not maintaining these adequately
 - freeboard, and the consequences of not maintaining this adequately
 - environmental constraints and concerns
 - deposition processes

- des critères de construction des barrages utilisant un remblai hydraulique sous forme de rejets ou des matériaux d'emprunt;
 - des conséquences que peuvent avoir les modifications à la quantité de rejets miniers, à la distribution des particules en fonction de leur taille ou à la géochimie;
 - de la fonction et de l'importance de l'instrumentation, du suivi, et de la tenue des dossiers;
 - de la nécessité des examens, des vérifications et de l'évaluation des risques réalisés par des tiers;
 - de l'impératif de plans en cas de sinistre.
- Aux employés sur le terrain :
 - pour leur garantir une compréhension de base des facteurs précédents;
 - formation en matière de systèmes de suivi des activités et d'entretien, y compris les systèmes d'intervention en cas de sinistre;
 - établissement de procédures et de critères de travail détaillés, sur une base quotidienne, hebdomadaire et mensuelle;
 - formation sur l'utilisation et l'entretien des instruments de suivi.
 - Formation en équipe :
 - tous les participants, y compris les concepteurs, les examinateurs externes, les employés sur le terrain et les sous-traitants.

3.3. CONTENU DE LA FORMATION

Un cours de formation typique s'adressant aux superviseurs ou aux employés sur le terrain peut aborder les sujets suivants :

Concepts de base ayant trait aux stériles miniers

- Définitions;
- Nature des stériles miniers;
- Contaminants potentiels dans les stériles miniers;
- Objectifs de l'élimination des stériles miniers;
- Comportement lors de la décantation, de la consolidation et du séchage;
- Propriétés géomécaniques;
- Résistance au cisaillement;
- Stabilité statique et dynamique;
- Stabilité hydrodynamique (filtres et formation de renards);
- Pressions piézométriques;
- Stabilité chimique;
- Planification à long terme de la fermeture;

Types de barrage de stériles miniers

- Systèmes de déposition;
- Types de barrages;

- dam construction requirements using waste hydraulic fill or borrow materials
- consequences of changes in disposal tonnage rate, particle size distribution, or geochemistry

- The function and importance of instrumentation, monitoring and record keeping.
- The requirements for third party review, audits and risk assessments.

- Emergency response requirements
- At Operator level:
 - to ensure that basic understanding of the above factors is gained
 - Training in Operation Monitoring and Maintenance Systems, including emergency response systems
 - Establish detailed daily, weekly and monthly operating procedures and requirements.
 - Training in the use and maintenance of monitoring instruments.
- Team Training:
 - All participants including designers, external reviewers, operators and third party contractors.

3.3. TRAINING SCOPE

A typical supervisor and operator-training course may cover the following subjects:

Tailings Fundamentals

- Definitions
- Nature of tailings
- Potential contaminants in the tailings
- Objectives of tailings disposal
- Behaviour under decantation, consolidation and drying
- Geomechanical properties
- Shear strength
- Static and dynamic stability,
- Hydrodynamic stability (filters and piping)
- Piezometric pressures
- Chemical stability
- Long term planning for closure

Types of Tailings Dams

- Deposition systems
- Types of dams

- Emplacement des barrages;
- Étude du terrain en vue de la construction d'un barrage;
- Forme des barrages;
- Applications des types de barrages;
- Avantages et inconvénients des divers types et sélection du type approprié;

Composants d'un parc à résidus miniers

- Techniques de déposition;
- Forme probable de la plage de résidus;
- Remblais hydrauliques et/ou construction à partir de matériaux d'emprunt;
- Installations de décantation;
- Systèmes de drainage et de collecte des exfiltrations;
- Systèmes de retour d'eau;

Stabilité

- Facteurs influençant la stabilité;
- Surface de la nappe phréatique;
- Types de ruptures;
- Facteurs de sécurité;
- Hydrologie;
- Bilans hydriques;
- Modèles hydriques;
- Valorisation de l'eau;

Suivi et gestion du barrage

- Obligations;
- Exigences réglementaires;
- Rédaction de rapports et divulgation de l'information;
- Tenue de dossiers;
- Interprétation des dossiers de suivi;
- Exigences en cas de sinistre;
- Évaluation des risques;
- Gestion du risque;
- Soutien aux vérificateurs externes;

Environnement

- Qualité des eaux d'exfiltration;
- Suivi et contrôle des exfiltrations;
- Géochimie des résidus miniers et des eaux de procédé;
- Gestion des agents polluants (cyanure, etc.);
- Contrôle des poussières;
- Santé et sécurité;

- Location of dams
- Site investigation for a dam
- Shapes of dams
- Applications of types of dams
- Advantages and disadvantages of types and selection of appropriate type.

Tailings Facility Components

- Deposition techniques
- Likely shape of tailings beach
- Hydraulic fill and/or borrow construction
- Decant facilities
- Drainage and Seepage Collection Systems
- Return Water Systems

Stability

- Factors affecting stability
- Phreatic Surfaces
- Types of failure
- Factors of Safety
- Hydrology
- Water Balances
- Hydrological Models
- Water Efficiencies

Dam Monitoring and Management

- Obligations
- Regulatory requirements
- Report writing and information dissemination
- Record keeping
- Interpretation of monitoring records
- Response requirements
- Risk Assessments
- Risk Management
- Support for external auditors

Environment

- Seepage Water Quality
- Seepage monitoring and control
- Geochemistry of Tailings and Process Water
- Pollutant Management (cyanide, etc)
- Dust Control
- Health and Safety

Réhabilitation et fermeture

- Affectation finale des terres;
- Stabilité à long terme;
- Gestion à long terme des exfiltrations et des eaux souterraines;
- Gestion des eaux de surface;
- Scellement, remblayage ou encapsulation des résidus;
- Contrôle de l'érosion;
- Végétation;

3.4. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Il est recommandé de consulter les références suivantes au sujet de l'éducation et de la formation - ou encore de les utiliser dans le cadre de celles-ci :

CIGB (1996B). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106.

VICK, S.G. (1983). *Planning, design and Analysis of Tailings Dams*. John Wiley.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF SOLID WORKS (1994). Technical Report: *Design and Evaluation of Tailings Dams*.

ICMM (1998) *Proceedings of the Workshop on Risk Assessment and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires.

UNEP (PNUE – PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT) et GOVERNMENT OF AUSTRALIA October (2000). *Workshop Proceedings: Accident Prevention in Mining*.

AMC (2002). ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA, *Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux*.

Rehabilitation and Closure

- Ultimate land use
- Long term stability
- Long term seepage and groundwater management
- Surface water management
- Sealing, capping or encapsulation
- Erosion control
- Vegetation.

3.4. FURTHER READING

Recommended further reading relating to, or for use in, Education and Training follows:

ICOLD (1996B). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS *A Guide to Tailings Dams and Impoundments: Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin 106.

VICK, S.G. (1983). *Planning, design and Analysis of Tailings Dams*. John Wiley:

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF SOLID WORKS (1994). Technical Report: *Design and Evaluation of Tailings Dams*.

ICMM (1998) *Proceedings of the Workshop on Risk Assessment and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP) AND GOVERNMENT OF AUSTRALIA OCTOBER (2000). *Workshop Proceedings: Accident Prevention in Mining*.

MAC (2002). MINING ASSOCIATION OF CANADA *Developing Operation Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Storage Facilities*.

4. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À LA CONCEPTION

4.1. GÉNÉRALITÉS

On compte de nombreuses excellentes publications couvrant tous les aspects de la conception des barrages de stériles miniers. Certaines de celles-ci sont citées dans les références à la fin de la présente section.

Le présent Bulletin se concentre sur les facteurs qui amèneront une amélioration de la sécurité des barrages de stériles miniers. Il est important de mettre l'accent de manière particulière sur certains aspects critiques de la conception, notamment de la conception de la fermeture. Les éléments ci-dessous sont considérés comme décisifs, pour toutes les étapes de la conception et de la construction du barrage, et sont approfondis dans les paragraphes suivants :

- Méthodes de déposition ;
- Choix de la technique de déposition ;
- Capacité de stockage et vitesse de montée ;
- Propriétés des matériaux et conditions de charge ;
- Conditions géotechniques ;
- Niveaux de la surface phréatique et gradients hydrauliques ;
- Liquéfaction statique ;
- Liquéfaction dynamique ;
- Gel et charges géochimiques reliées ;
- Charges associées aux risques géologiques ;
- Charges sismiques ;
- Conception de la fermeture ;
- Conception du bilan hydrique ;
- Filtres et drainage ;
- Aspects environnementaux.

4.2. SÉLECTION DE LA MÉTHODE DE DÉPOSITION

La sélection d'une méthode de déposition adéquate est critique pour l'ensemble du processus de conception.

4.2.1. Autres méthodes de déposition

Le Bulletin 106 de la CIGB, *Guide des barrages et retenues de stériles* (CIGB, 1996b) décrit divers types de barrage de stériles miniers traditionnels et communs et

4. CRITICAL DESIGN ASPECTS

4.1. GENERAL

There are many excellent publications covering all aspects of tailings dam design. Some of these are referenced at the end of this section.

This Bulletin is focused on factors that will lead to an improvement in tailings dam safety. There are some critical aspects relating to design, including closure design that requires special emphasis. The following aspects that are considered critical, for every stage of the dam design and construction, are highlighted in the paragraphs following:

- Deposition Methods
- Selection of Deposition Technique
- Storage Capacity and Rate of Rise
- Material Properties and Loading Conditions
- Geotechnical Conditions
- Phreatic Levels and Hydraulic Gradients
- Static Liquefaction
- Dynamic Liquefaction
- Freezing and Geochemical Related Loading
- Geohazard Loading
- Seismic Loading
- Designing for Closure
- Water Balance Design
- Filters and Drainage.
- Environmental Aspects

4.2. SELECTION OF DEPOSITION METHOD

Selection of an appropriate deposition method is critical to the design process.

4.2.1. Alternative Deposition Methods

ICOLD Bulletin 106: *A Guide to Tailings Dams and Impoundments* (ICOLD, 1996b) sets out various traditional and commonly used forms of tailing dams and

leurs méthodes de construction. La Section 2 du Bulletin 44a de la CIGB : *Bibliographie - Barrages et dépôt de stériles miniers et industriels* (CIGB, 1982-89) présente une liste de références détaillées sur la séparation par cyclone, sur l'écoulement par robinet, sur la construction d'enclos et sur les remblais en terre. Enfin, les Sections 4.15 et 4.16 du présent chapitre renvoient à d'autres ouvrages pouvant s'avérer utiles.

Plus récemment, les méthodes de déposition traditionnelles se sont perfectionnées et de nouvelles ont été mises au point.

Voici quelques exemples de ces méthodes récentes :

- la technique hybride d'enclos/d'écoulement par robinet ;
- la mise en dépôt semi-aérienne par rampes de pulvérisation (épaisseur des couches et cycles de séchage contrôlés) ;
- la déposition de stériles présentant une haute densité :
 - déposition en cône central de résidus épaissis ;
 - déposition en cônes multiples de résidus épaissis ;
 - « l'empilage à sec » (industrie de l'aluminium) ;
- le rejet de stériles en pâte :
 - à la surface ;
 - remblayage de la mine (ce qui peut réduire le tonnage pour entreposage en surface) ;
- l'empilage asséché des sables de stériles (de cette façon, le barrage est perméable et le rejet de stériles miniers est fait de façon intermittente, de manière à ce que l'eau interstitielle s'écoule et que le remblai ne soit pas saturé. Cette méthode présente un risque de rupture inférieur, étant donné l'absence de pressions interstitielles, et les dangers qu'elle représente sont très faibles, puisqu'en cas de rupture, les stériles miniers ne risquent pas de s'écouler) ;
- les stériles déshydratés, acheminés par convoyeurs et empileurs.

4.2.2. Choix des techniques de déposition

La sélection de la technique de mise en dépôt adéquate, adaptée aux conditions en vigueur, représente un des aspects les plus importants de la conception d'un barrage de stériles miniers et optimisera la sécurité du barrage durant toute sa durée de vie.

Plusieurs facteurs orienteront cette décision, notamment :

- la topographie du site ;
- les conditions climatiques ;
- les caractéristiques géotechniques et chimiques des stériles ;
- le rythme auquel les stériles sont acheminés ;
- la concentration des boues ;
- la capacité volumétrique de stockage et la vitesse de montée du dépôt dans le temps (relation entre l'acheminement, le tonnage, et le volume sur place) ;

methods of construction. Further details on the specifics of cyclone and spigot deposition and paddock dams or earth wall construction are listed in Section 2 of the ICOLD Bulletin 44a: *Bibliography: Mine and Industrial Tailings Dams and Dumps* (ICOLD, 1982-89). Other useful references are listed in Section 4.15 and 4.16 hereto.

In more recent years, there have been refinements of traditional deposition methods and developments into new deposition methods.

Some examples of these new forms are:

- The hybrid paddock/spigot deposition technique
- Sub-aerial spray bar deposition (managed layer thickness and drying cycle)

- High density tailings deposition:
 - Thickened Central Cone Discharge
 - Multiple Cone Discharge
 - “Dry Stacking” (Aluminium industry)
- Paste disposal of tailings:
 - To surface,
 - To mine backfill (which can reduce the tonnage for surface disposal).

- Drained Stacking of Sandy Tailings (In this method the dam is pervious and the tailings discharge is intermittent in such a way that the pore water drains and the embankment is non saturated. It has a lower risk of failure, because of the absence of pore pressures and a very low hazard potential, as there is no flow of tailings in the case of a failure).

- Dewatered tailings, placed by conveyor and stacker equipment.

4.2.2. Selection of Deposition Techniques

One of the most critical aspects of tailing dam conceptual design that will enhance the lifetime safety of the dam, is the correct selection of deposition technique to suit the circumstances applying.

There are many factors that will govern the selection, namely:

- topography of the site
- climatic conditions
- tailings geotechnical and chemical characteristics
- rate of tailing delivery
- slurry concentration
- volumetric storage capacity and rate of rise of the deposit with time (relationship between delivery, tonnage and “in situ” volume)

- la conservation des eaux et le contrôle des poussières ;
- l'expertise dont on dispose pour la gestion du processus de déposition.

Une évaluation attentive de chacune de ces variables est essentielle afin de guider la sélection de la technique de mise en dépôt et elle exige la participation de concepteurs, d'exploitants et de personnel de mine expérimentés.

La technique de déposition adoptée déterminera alors le processus de conception du barrage de stériles miniers et aura un effet sur :

- les travaux de terrassement préalables à la déposition ;
- les systèmes de drains de sortie ;
- les pentes externes de la surface des stériles ;
- les paramètres des matériaux pour l'analyse de la stabilité ;
- les systèmes de décantation et leur emplacement ;
- la densité sèche sur place (pourcentage de solides en fonction de la masse) des stériles déposés.

Un choix adéquat de la technique de déposition permettra de construire un barrage de stériles miniers plus sûr et plus gérable durant son exploitation. La méthode de déposition choisie peut influencer certains aspects de la gestion des eaux.

4.3. CAPACITÉ DE STOCKAGE ET VITESSE DE MONTÉE

Le parc à résidus miniers sera conçu de manière à accueillir la production annuelle de stériles provenant d'une mine, tout au long de sa durée de vie de conception.

Le volume de stockage requis (m^3) sera déterminé en fonction du nombre total de tonnes de stériles devant être stockées, divisé par la densité sèche sur place (t/m^3) des stériles déposés. À son tour, la densité sèche sur place des stériles déposés dépendra de la nature des stériles, des conditions climatiques, de la superficie et du rythme auquel les stériles seront acheminés dans la zone de stockage ; en effet, tous ces facteurs influencent le drainage et la consolidation des stériles.

On reconnaît généralement que plus la vitesse de montée des stériles miniers déposés est élevée, plus faible sera la densité sèche sur place puisque le temps concédé à la consolidation ou au séchage des couches plus épaisses est insuffisant. Une pression interstitielle peut également être emprisonnée si la vitesse de montée est trop élevée pour un matériau donné.

La vitesse de montée s'exprime habituellement comme la vitesse de montée instantanée ou courante (m/a), calculée à partir du taux annuel de déposition (m^3) divisé par la superficie de la surface moyenne (m^2) du dépôt pour l'année en question.

La superficie au sol requise pour un parc à résidus miniers conçu pour recevoir un volume donné de stériles peut, dans plusieurs cas, être déterminée par des considérations liées à la vitesse de montée admissible. Celle-ci peut être établie par des calculs tenant compte de la consolidation ou du séchage, ou encore elle peut être déterminée par l'expérience sur le terrain.

- water conservation and dust control
- expertise available for management of the deposition process.

Careful assessment of each of these parameters is essential in order to provide guidance for selection of deposition technique and requires the involvement of experienced designers, operators and the mine staff.

The deposition technique to be applied will then govern the design process for the tailings dam, and will have an impact on:

- pre-deposition earthworks
- under drainage systems
- outer slopes of the tailings surface
- material parameters for stability analysis
- decant systems and location
- the “in situ” dry density (percent solids by mass) of deposited tailings.

Correct selection of deposition technique will in turn lead to a safer, more manageable tailings dam during its operating life. The selected deposition method may influence some aspects of water management.

4.3. STORAGE CAPACITY AND RATE OF RISE

A tailings storage facility (TSF) will be designed to accommodate the annual tailings production from a mine over its design life.

The required storage volume (m^3) will be determined from the total tons of tailings to be stored divided by the assessed in situ dry density (t/m^3) of the deposited tailings. In turn, the in situ dry density of the deposited tailings will depend on the nature of the tailings, the climate, the surface area and the rate at which the tailings is deposited into the storage area, all of which affect the drainage and consolidation of the tailings.

It is generally accepted that the higher the rate of rise of the deposited tailings, the lower will be the in situ dry density, because there is insufficient time for consolidation or drying of thicker layers. Trapped pore pressures may also result if the rate of rise is too high for a particular material.

Rate of rise is usually expressed as the instantaneous or current rate of rise (m/yr) determined from the annual deposition rate (m^3) divided by the average surface area (m^2) of deposition for that year.

The required footprint area of a TSF designed to store a given volume of tailings, can in many instances be governed by allowable rate of rise considerations. The allowable rate of rise can be determined by calculations of consolidation or drying or can be determined by operating experience.

Lorsque le stockage a lieu dans une vallée ou sur la pente d'un talus, la vitesse de montée des premières étapes de déposition sera très élevée, étant donné la superficie limitée des stériles miniers mis en dépôt. Dans un tel cas, les stériles peuvent être déposés derrière une paroi d'appui en terre à remblai classique, bien conçue, jusqu'à ce que la vitesse de montée soit ramenée à un niveau admissible.

4.4. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX ET CONDITIONS DE CHARGE

4.4.1. Introduction

L'évaluation de la conception et de la stabilité d'un barrage de stériles miniers durant sa durée de vie utile est liée aux facteurs suivants, qui peuvent également les influencer :

- les propriétés géotechniques du barrage et des matériaux des fondations, sous les parois du barrage ;
- les propriétés physiques et chimiques des stériles miniers mis en dépôt ;
- les charges internes et externes qui pourraient s'exercer sur les stériles miniers déposés, comme :
 - la vitesse de montée et son effet sur la pression interstitielle ;
 - la charge interne créée par la surface de la nappe phréatique ;
 - la charge de l'eau, de la neige et de la glace sur les surfaces supérieures du barrage ;
 - les effets du gel et du dégel ;
 - les charges géochimiques ;
 - les charges associées aux risques géologiques ;
 - les charges sismiques ;
 - la liquéfaction statique.

Il est indispensable que ces paramètres soient soigneusement étudiés et compris, avant la construction des barrages de stériles miniers aussi bien que pendant leur exploitation, afin d'obtenir un bon niveau de sécurité garanti. Des essais en laboratoire, confirmés par des essais sur place, devraient être menés à mesure que le processus de dépôt se produit.

Il est nécessaire de procéder à un suivi constant du processus de dépôt durant toute la vie utile du barrage. Les résultats du suivi peuvent indiquer que des modifications à la conception ou à l'exploitation sont requises. Le Chapitre 6 aborde cet aspect plus en profondeur.

4.4.2. Charge de l'eau du bassin pour la conception géotechnique

L'analyse de stabilité des composants structurels de la paroi du barrage doit considérer le niveau de l'eau du bassin.

Lorsque le bassin se situe dans la zone d'influence de la rupture, la charge directe de l'eau à son niveau maximal de projet, par exemple après un événement de précipitation maximale probable, doit être prise en compte dans les conditions de charge.

For the cases of valley storage or side-slope configurations, the rate of rise in the early stages of deposition will be very high, due to the limited surface area of the deposited tailings. In such cases it is accepted that the tailings must be deposited behind a conventional well designed earth fill starter wall until such time as the rate of rise has reduced to acceptable levels.

4.4. MATERIAL PROPERTIES AND LOADING CONDITIONS

4.4.1. Introduction

The design and stability assessments of a tailings dam over its operating life are dependent upon, and sensitive to:

- The geotechnical properties of the dam and the foundation materials underlying the dam walls
- The physical and chemical properties of the tailings to be deposited
- The internal and external loads that may be applied to the deposited tailings, such as:
 - The rate of rise and its influence on trapped pore pressure
 - The internal loading created by the phreatic surface
 - Water, snow and ice loading on the top surfaces of the dam

 - Freezing and thawing effects
 - Geochemical loading
 - Geo-hazard loading
 - Seismic loading
 - Static liquefaction.

It is essential that these parameters must be fully investigated and understood, both before commissioning and during the dams operating life, in order to provide assured and increased level of safety of the tailings dam. Regular laboratory testing backed up by in situ testing should be carried out as deposition proceeds.

Continuous monitoring of the deposition process is essential during the life of the dam. Monitoring results may indicate the need for design or operation modifications. Chapter 6 deals with this aspect.

4.4.2 Pool Water Loading for Geotechnical Design

Stability analysis of the structural components of the dam wall must take account of the pool water level.

In cases where the pool is located within the zone of failure influence, the direct load of the water at its maximum design level, say after a PMP event, must be included in the load conditions.

Le stockage de quantités importantes d'eau pendant de longues périodes dans le bassin peut entraîner une élévation de la surface de la nappe phréatique si celui-ci se trouve à une certaine distance de la paroi externe du barrage. La position élevée de la surface de la nappe phréatique projetée doit alors être prise en considération dans l'étude de stabilité.

L'analyse de stabilité du barrage tenant compte de la charge de l'eau du bassin doit être réalisée à diverses étapes de la construction des installations.

4.5. CONDITIONS GÉOTECHNIQUES

4.5.1. Généralités

La dimension des particules des stériles miniers influence la stabilité des masses de stériles de diverses manières. Tout d'abord, la résistance au cisaillement effective a tendance à être supérieure pour les stériles ayant des particules de grande dimension. Cela est attribuable à l'influence des particules plus grossières et à la possibilité que les particules plus fines se bloquent dans les interstices créés entre les grosses particules, augmentant ainsi la densité. Ensuite, leur plus grande perméabilité permet à la pression interstitielle de se dissiper plus rapidement que dans les stériles miniers fins.

La pression interstitielle se formant dans les stériles fins peut s'avérer supérieure. Même si ces stériles offrent une importante résistance au cisaillement lorsqu'ils sont drainés, cette résistance ne se manifesterait qu'en présence de fortes contraintes, quand la pression interstitielle générée sera également élevée. En outre, l'alternance des couches et la présence de stériles fins peuvent donner lieu à des phénomènes d'anisotropie.

Pour mieux orienter les analyses de stabilité, les prochaines sections présentent un survol des principales caractéristiques des stériles grossiers et fins en matière de résistance au cisaillement.

4.5.2. Stériles miniers grossiers

Aux fins de la présente discussion, les stériles miniers considérés grossiers sont des matériaux limoneux et sablonneux présentant une quantité limitée de limon et un contenu en argiles très faible ou nul ($< 2\mu$). La composante plus fine de ces stériles est principalement composée de limon, ayant une plasticité très faible ou nulle.

Stériles miniers meubles

Les paramètres de densité des stériles influencent fortement la résistance au cisaillement de leur masse. En fonction de la gestion des eaux, la configuration de la plage de résidus peut prendre diverses formes, pouvant être entièrement submergée ou même entièrement exposée. Ces conditions peuvent donner lieu à divers paramètres en matière de granulométrie et de densité, qui à leur tour offrent des caractéristiques diverses en matière de résistance.

In cases where the pool is remote from the outer dam wall, long periods of high water level storage in the pool can cause a rise in the phreatic surface. The projected elevated position of the phreatic surface must then be taken into account in the stability assessment.

The dam stability analysis, incorporating pool water loading, should be undertaken at various stages of development of the facility.

4.5. GEOTECHNICAL CONDITIONS

4.5.1. General

The grain size of the tailings affects the stability of a tailings mass by different ways. Firstly the effective shear strength tends to be higher for coarse tailings because of the influence of the coarser particles and the possibility of interlocking of the smaller particles in the voids of the coarse giving higher densities. Secondly, the higher permeability allows the generated pore pressures to dissipate at a rate faster than in the fine tailings.

Generated pore pressures in fine tailings may be higher. Even if these tailings present significant drained shear strength, this strength will only be mobilized at higher strains, where the generated pore pressures will be also high. Interlayering and fine tailings can cause anisotropy.

With the purpose of guidance for stability analyses the main characteristics of the shear strength of the tailings are summarized in the following sections for coarse and fine tailings.

4.5.2. Coarse Tailings

Coarse tailing are considered in this discussion as silty and sandy materials with limited silt and very small or no clay content ($< 2\mu$). The finer part of these tailings is mainly silt with little or no plasticity.

Loose Tailings

The density characteristics of the tailings strongly govern the shear strength of the tailings mass. Depending on water management, the tailings beach may vary from being fully submerged to being fully exposed. These conditions may result in different gradations and density conditions, which in turn give different strength characteristics.

Les stériles miniers meubles et saturés ont une forte tendance à se contracter sous l'effet d'un cisaillement sans consolidation. La résistance au cisaillement effective disponible atteint son maximum seulement en présence des plus fortes contraintes, avec une forte pression interstitielle associée. On doit prendre note que chaque condition de résistance mobilisée correspond à une condition différente de pression interstitielle.

Une analyse de stabilité sous contrainte efficace doit tenir compte de chaque valeur de la résistance au cisaillement disponible, avec les valeurs de pression interstitielle correspondante. Si les analyses doivent être réalisées en considérant la résistance au cisaillement maximale disponible, les valeurs de la pression interstitielle doivent être obtenues à partir des essais, pour connaître les contraintes correspondantes auxquelles la résistance au cisaillement maximale est mobilisée.

Les analyses doivent généralement être réalisées à partir des méthodes de contraintes effectives.

Pour les barrages où les stériles miniers sont rejetés dans un état saturé, la conception doit tenir compte du comportement des stériles meubles.

Stériles miniers denses

Les stériles miniers saturés et denses développent leur résistance au cisaillement maximale en générant une pression interstitielle très faible ou absente, ou même avec une pression interstitielle négative dans le cas d'un cisaillement sans consolidation. L'analyse peut être réalisée à partir des conditions de contraintes effectives. Les pressions interstitielles obtenues à partir du réseau d'écoulement peuvent être utilisées, en association avec la résistance au cisaillement effective provenant des essais de compression triaxiale.

Dans la zone des stériles miniers non saturés, au-dessus de la surface de la nappe phréatique, les conditions se rapprocheront des conditions drainées et la résistance au cisaillement maximale disponible, obtenue à partir d'essais réalisés sur les matériaux drainés, doit être utilisée.

4.5.3. Stériles miniers fins

Règle générale, les stériles miniers fins sont rejetés sur la plage de résidus avec un indice des vides élevé associé à une très faible résistance au cisaillement.

Durant la consolidation, la résistance au cisaillement augmente, mais la dissipation de la pression interstitielle peut s'avérer très lente. Par conséquent, la résistance au cisaillement qu'on constate dans les stériles miniers fins peut représenter un obstacle à la construction d'un barrage selon la méthode amont.

Certains sites offrent des conditions favorables au rejet de stériles miniers fins en cellules de stockage ou en dépôts provisoires, pour favoriser la consolidation naturelle par séchage et dessiccation, augmentant ainsi leur résistance. Cette technique peut particulièrement se révéler adéquate dans les climats secs, où la construction d'un barrage suivant la méthode de l'axe central s'avère acceptable, ou encore pour permettre l'utilisation de la méthode de construction amont.

Saturated loose tailings show a marked tendency to contract during undrained shear. The available effective shear resistance reaches a maximum only at higher strains, with associated high pore pressures. It shall be noted that each condition of mobilized strength, corresponds to a different condition of pore pressure.

Effective stress stability analyses shall consider each value of the available shear strength with the corresponding values of the pore pressure parameters. If the analyses are to be made considering the maximum available shear resistance, the pore pressure values shall be obtained from the tests, for the correspondent strain that the maximum shear strength is mobilized.

Analysis should generally be carried out using effective stress methods.

For dams, with tailings discharged in a saturated condition, the loose tailings behavior shall be considered in the design.

Dense Tailings

Saturated dense tailings develop maximum available shear strength with no or very little pore pressure generation, or even negative pore pressure, during undrained shearing. Analysis may be undertaken using the effective stress condition. Pore pressures derived from the flow net may be used, together with effective shear strength from triaxial tests.

For the zone of the non-saturated tailings, above the phreatic surface, the conditions will approach the drained condition and the maximum available shear strength, obtained from drained tests, shall be used.

4.5.3. Fine Tailings

In general, fine tailings are discharged to the tailings beach with a high void ratio associated with very low shear strength.

During consolidation the shear strength increases but the pore pressure dissipation will be very slow. As a consequence, the shear strength prevailing in fine tailings may restrict the potential for an upstream dam.

Under some site conditions it is possible to discharge fine tailings into cells, or paddocks, to assist natural consolidation by drying and desiccation, thus increasing strength. This method may be specially used in dry climates, resulting in the acceptability of the centerline deposition method, or even to enable the use of the upstream method.

4.6. NIVEAUX PIÉZOMÉTRIQUES ET GRADIENTS HYDRAULIQUES

La détermination de la position de la surface de la nappe phréatique représente une étape importante de l'analyse de stabilité des barrages de stériles miniers. La surface de la nappe phréatique représente la ligne de démarcation entre les zones de matériaux saturés et de matériaux non saturés.

Les méthodes de construction adoptées, l'emplacement du bassin de décantation et les systèmes internes de drainage prévus déterminent les conditions de la percolation à l'intérieur du remblai et, par conséquent, influencent les zones de matériaux saturés et de matériaux non saturés.

La possibilité que la distribution de la pression interstitielle ne soit pas hydrostatique doit être prise en considération.

4.6.1. Géométrie de la construction

Construction suivant la méthode amont

Pour une méthode de mise en dépôt configurée vers l'amont, la zone de rupture comprend généralement une masse importante de stériles. Cette zone peut croiser la surface de la nappe phréatique, en quel cas les effets de la pression interstitielle sur la surface de rupture doivent être pris en considération.

Construction suivant la méthode aval et la méthode de l'axe central

Dans le cas d'une construction configurée selon l'axe central ou vers l'aval, si un bon système de drainage est prévu, une part importante du remblai est généralement non saturée. La surface critique pour les ruptures se trouve alors principalement dans la paroi du remblai de terre initial. La zone de rupture d'un tel barrage de stériles miniers est par conséquent concentrée avant tout dans le remblai construit, et très peu dans la masse de stériles stockés. La géométrie du drainage interne et l'inclinaison de la pente aval représentent les aspects critiques.

4.6.2. Détermination de la surface de la nappe phréatique

La position de la surface de la nappe phréatique doit être déterminée durant l'étape de conception du barrage grâce à des analyses de percolation. De plus, pendant la construction et l'exploitation, il faut procéder à une auscultation du barrage afin de vérifier les hypothèses de conception et d'évaluer la sécurité.

La modélisation numérique fait partie des procédés acceptables pour évaluer l'écoulement gravitaire, particulièrement la méthode des éléments finis. Dans le cas des analyses de percolation, il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques de perméabilité des divers matériaux concernés, notamment des stériles. Les paramètres devant être étudiés comprennent le coefficient de perméabilité, l'anisotropie et l'hétérogénéité; c'est-à-dire la fluctuation tant du coefficient de perméabilité que des caractéristiques d'anisotropie à travers le remblai et en profondeur dans celui-ci.

4.6. PIEZOMETRIC LEVELS AND HYDRAULIC GRADIENTS

The determination of the position of the phreatic surface is an important step in the stability analysis of a tailings dam. The phreatic surface is the limit between the zones of saturated and non-saturated materials.

The methods of construction, the location of the decant pond and the internal drainage provisions, give the boundary conditions for seepage within the embankment thereby influencing the zones of saturated and non-saturated materials.

The possibility of a non-hydrostatic pore pressure distribution shall be taken into account.

4.6.1. Geometry of Construction

Upstream Construction

For an upstream deposition configuration method the failure zone usually includes a large mass of tailings. This zone may intersect the phreatic surface requiring consideration of the effect of pore pressures on the failure surface.

Centreline and Downstream Construction

In centerline or downstream configuration, with a good drainage, a substantial part of the embankment is typically unsaturated and the critical failure surface is mainly in the starter wall earth fill section. The failure zone of such type of tailings dams is therefore mostly concentrated in the constructed embankment with little in the stored tailings mass. Critical aspects are the geometry of the internal drainage and the inclination of the downstream slope.

4.6.2. Phreatic Surface Determination

The position of the phreatic surface shall be obtained during the design stage by seepage analyses. Furthermore, during the construction and during operations, the dam shall be monitored to check the design assumptions and evaluate the safety.

Acceptable methods to evaluate gravity flow include numerical models, particularly the finite element method. For seepage analyses it is necessary to consider the permeability characteristics of the several materials involved, including the tailings. The parameters that shall be investigated are the coefficient of permeability, the anisotropy, and the heterogeneity; that is the variation of both the coefficient of permeability and anisotropy characteristics across and in depth of the embankment.

4.6.3. Perméabilité

Il est commun de mesurer le coefficient de perméabilité tant par des essais en laboratoire que sur le terrain. Pour les barrages en phase de conception, les essais en laboratoire peuvent être utilisés pour déterminer la perméabilité.

L'échantillonnage des stériles utilisés pour les essais doit être fait dans des conditions reprenant celles sur le terrain. Un échantillon pris directement dans les installations de traitement peut ne pas s'avérer représentatif dans certaines conditions, puisque les caractéristiques de granulométrie des stériles peuvent changer avec la ségrégation se produisant durant la mise en place. Une zone de dépôt témoin peut être requise pour offrir des échantillons représentatifs des stériles dans des conditions similaires à celles sur le terrain. Les premières couches de stériles rejetés sur le site de stockage peuvent offrir les conditions adéquates pour obtenir des échantillons intacts permettant de vérifier les données des essais originaux.

Chacune des étapes du projet offre des conditions procurant une certaine mesure d'exactitude dans le processus d'échantillonnage et d'essais. Un mécanisme d'amélioration continue de l'évaluation des paramètres devrait être prévu. Au tout début de la conception, l'évaluation peut se fonder sur des caractéristiques présentées par des matériaux similaires provenant d'autres projets. La formule Hazen peut être utile dans les évaluations préliminaires.

Un essai pilote est important pour mettre en place les stériles dans des conditions similaires à celles sur le terrain, et il constituera une première occasion d'échantillonnage. Un remplissage d'essai ou les premières couches de stériles rejetés dans le réservoir définitif peuvent fournir des échantillons permettant de déterminer des valeurs fiables quant aux paramètres utilisés lors des analyses.

Tant les essais en laboratoire que ceux réalisés sur le terrain représentent des méthodes précieuses afin de connaître le coefficient de perméabilité des stériles. Pour ce paramètre, les essais sur le terrain s'avèrent plus exacts et sont à privilégier.

En ce qui a trait à l'anisotropie, il est très difficile d'obtenir en laboratoire des résultats qui représentent bien les conditions sur le terrain à partir d'échantillons moulés. En contrepartie, les essais sur le terrain ont pour défaut un plus faible degré de saturation. Pour étudier l'anisotropie, il est préférable de se procurer des échantillons intacts reflétant les conditions sur place, de sorte que les essais en laboratoire puissent être réalisés sur des échantillons représentatifs, avec les meilleures procédures de saturation.

Il est également utile d'évaluer le degré d'anisotropie en creusant des fossés d'inspection offrant un bon accès afin de recueillir des échantillons et de permettre une reconnaissance visuelle.

L'anisotropie et/ou l'hétérogénéité sont influencées par la ségrégation des stériles suivant les diverses configurations d'écoulement sur la plage de résidus. Les particules plus grossières ont tendance à se déposer à proximité du point de rejet, tandis que les particules plus fines sont transportées sur de plus longues distances par le courant. Une ultérieure ségrégation peut se produire avec des stériles dont les propriétés minéralogiques manifestent des variations. Certains stériles provenant de la production de minerai de fer présentent des compositions minérales différentes ;

4.6.3. Permeability

It is common to obtain the coefficient of permeability by both laboratory and “in situ” tests. For dams in the design stage, laboratory tests can be used to determine permeability.

The sampling of the tailings for the tests shall be made in conditions to duplicate the field conditions. A sample taken directly from the processing plant may not be representative in certain conditions, as the gradation characteristics of the tailings may vary with segregation during placement. A pilot deposition area may be required to give representative samples of tailings in conditions similar to the field conditions. The first layers of the tailings discharged at the storage may give conditions for obtaining undisturbed samples to verify data from the original tests.

Each stage of the project gives conditions to a certain level of accuracy in the process of sampling and testing. There shall be a process of a continuous improving of the evaluation of the parameters. At the first stages of the design, the evaluation may be based in characteristics obtained from similar materials from other projects. The Hazen formula may help in preliminary estimates.

A pilot test is important to place the tailings in conditions similar to the field conditions and will provide a first opportunity for sampling. A test fill or the first layers of the tailings discharged at the final reservoir may provide samples for determining reliable values of the parameters to be used in the analyses.

Both laboratory and “in situ” tests are valuable means to obtain the permeability coefficient of the tailings. For this parameter, the “in situ” tests are more reliable and preferable.

In respect of anisotropy, it is quite difficult to obtain results from specimens moulded indicative of field conditions in the laboratory. On the other hand, “in situ” tests have also shortcomings of lower degree of saturation. The best way to investigate the anisotropy is to obtain undisturbed samples representing the “in situ” condition”, so the laboratory tests may be performed on representative samples with the best saturation procedures.

It is also useful to evaluate the degree of anisotropy by excavating inspection ditches that provide good access for taking samples and to enable a visual inspection.

Anisotropy and/or heterogeneity is influenced by the segregation of the tailings along the various flow patterns across the beach deposits. Coarser particles tend to settle near the point of discharge, with the finer particles being transported for longer distances by the flow. Further segregation may occur with tailings that have variation in mineralogical characteristics. Some tailings from iron ore production have different mineral contents with the finer particles having a higher iron content and the coarser having more silica. As a result the segregation characteristics are

les particules plus fines ont un contenu plus élevé en fer, tandis que les particules plus grossières contiennent plus de silice. Par conséquent, les caractéristiques de ségrégation varient. Cela peut engendrer une perméabilité anisotrope, qui pourrait avoir un effet important sur la configuration de la percolation et sur la stabilité.

La principale procédure consiste à recueillir tant des échantillons intacts que des échantillons remodelés à diverses distances du point de rejet, puis à réaliser toute une série d'essais en laboratoire pour chacun de ces échantillons, afin d'évaluer leur perméabilité, leur anisotropie et leur hétérogénéité.

4.6.4. Analyse de la percolation

Afin de déterminer les conditions limites et de sélectionner la valeur de la perméabilité horizontale et verticale, une analyse de percolation est réalisée pour mieux localiser la surface de la nappe phréatique, définir le régime d'écoulement et le gradient hydraulique, etc.

Il arrive parfois que l'écoulement aux fondations du barrage soit lié à l'écoulement souterrain au niveau des appuis latéraux; par conséquent, cette pression souterraine peut influencer les pressions piézométriques, agissant comme une sous-pression sous le barrage et à l'intérieur de celui-ci. Dans un tel cas, il est possible que la sous-pression s'avère supérieure à la pression indiquée par le réseau d'écoulement, calculée sans considérer l'écoulement au niveau des appuis latéraux. Cet effet tridimensionnel doit être inclus dans l'analyse pour une évaluation plus complète des sous-pressions.

Lorsqu'on utilise la méthode des éléments finis, le maillage doit tenir compte de toutes les variations des matériaux, avec une interface suffisamment détaillée. Les contrastes importants en matière de valeurs de perméabilité doivent être minimisés par l'adoption de zones de transition; dans le cas contraire, des problèmes de convergence peuvent apparaître dans l'analyse numérique.

Dans le cas des barrages construits à l'aide de sable séparé par cyclonage, la charge transitoire de la sous-verse du cyclone doit être considérée comme débit entrant affectant la pente en aval du barrage.

Il peut être utile de représenter la grande perméabilité des drains par des lignes de démarcation avec une hypothèse de charge au point de sortie, plutôt que de représenter leur géométrie par une forte perméabilité correspondante. Il est possible d'effectuer des variations paramétriques de la charge (supposée, au besoin) jusqu'à l'obtention de la convergence.

À mesure que la hauteur du barrage augmente, le drainage prévu doit également pouvoir accueillir des débits plus importants. Les drains construits au même moment que le « barrage d'appui » doivent par conséquent être analysés durant toutes les étapes de la construction. L'emplacement de la surface de la nappe phréatique, pour la dernière étape de la construction, doit être déterminé afin d'établir les critères pour les filtres de base garantissant le drainage. Pour éviter une obturation mécanique des drains, les critères des filtres doivent être respectés.

Une analyse de sensibilité devrait être réalisée pour évaluer l'influence des variations de la perméabilité et le positionnement des drains enfouis. Enfin, on choisit le niveau de la nappe phréatique pour répondre aux conditions de conception.

changed. This could result in anisotropic permeability, which could have a significant effect on seepage patterns and stability.

The main procedure is to collect both undisturbed and remolded samples taken at different distance from the discharge point, and then to perform a complete set of laboratory tests for each sample, in order to evaluate the permeability, anisotropy, heterogeneity.

4.6.4. Seepage Analysis

After determining the boundary conditions and selecting the values of horizontal and vertical permeability, a seepage analysis is carried out to determine the location of the phreatic surface, flow velocities, hydraulic gradients, etc.

Sometimes the flow at the foundation of the dam is connected to groundwater flow at the abutments and so, this ground water pressure may govern the piezometric pressure, acting as an uplift pressure under and within the dam. In these situations, it is possible that the uplift pressure is higher than the pressure indicated by the normal flow net, derived without considerations on the flow at the abutments. This three-dimensional effect shall be included in the analysis for a reliable evaluation of the uplift pressures.

When using the finite element method, the mesh shall include all the variations of materials, with its interface sufficiently detailed. Large contrast of permeability values shall be minimized through adopting transition zones; otherwise convergence problems in the numerical analysis may occur.

In the case of cycloned sand dams, the transient loading due to the underflow cyclone water shall be added as an inflow to the downstream slope of the dam.

It may be useful to represent the high permeability of the drains by boundaries with an assumed head at the exit point, instead of representing its geometry with a corresponding high permeability. Parametric variations of the head (assumed, if necessary) may be made until convergence is obtained.

As the height of the dam increases, the flow requirements for drainage provisions also increase. Drains constructed together with the “starter dam”, must therefore be analysed for all stages of the construction. The position of the phreatic surface, for the final stage of the construction, shall be determined in order to establish the requirements for base filters to provide drainage. To avoid mechanical clogging of the drains, filter criteria must be adhered to.

A sensitivity analysis should be carried out to assess the influence in variations in permeability and locations of internal drains. Finally a position for the phreatic surface is chosen for the design condition(s).

4.6.5. Charges statiques

En plus des charges de l'eau, abordées dans la Section 4.4.2 du présent document, l'analyse de stabilité des barrages de stériles miniers doit tenir compte des propriétés de résistance au cisaillement des stériles ainsi que de la pression interstitielle qui se forme lors de la mise en charge, tel que décrit dans la Section 4.5 du présent document, comme pour tous les autres matériaux de construction et des fondations du barrage.

La géométrie de la surface de la nappe phréatique, telle que décrite dans la Section 4.6, ainsi que les pressions piézométriques provenant du débit gravitaire, représentent d'autres paramètres importants à déterminer.

4.6.6. Charge des stériles sur le barrage

La masse des stériles et leur consolidation peuvent provoquer des charges sur le barrage qui doivent être prises en considération lors de la conception.

La consolidation des stériles peut provoquer une force d'entraînement « vers le bas » sur la pente amont du barrage et peut également engendrer une pression interstitielle en excès. Il peut s'avérer important de tenir compte de cette force sur les grands barrages à masque amont en béton ou à masque amont souple, et sur le béton des structures de décantation.

4.7. LIQUÉFACTION STATIQUE

La liquéfaction statique des stériles miniers meubles peut survenir lorsque les conditions de charges sont suffisantes pour augmenter la pression interstitielle à un niveau critique, abaissant les contraintes effectives à des valeurs se rapprochant des conditions d'équilibre limite. Il pourrait se produire une liquéfaction des stériles en cas d'effondrement de leurs structures inter-particules. Ce phénomène apparaît généralement quand la vitesse de montée de la construction est supérieure à la dissipation de la pression interstitielle. D'autres événements « déclencheurs » peuvent également être :

- des charges dues aux vibrations, par exemple au travail des boteurs et/ou des camions de roulage circulant continuellement sur une zone donnée ;
- une hausse du niveau de la nappe phréatique. Par exemple, des conditions d'artésianisme peuvent se présenter à la suite de fortes précipitations ou encore le drainage peut se détériorer comme par l'accumulation de limon ou par l'obstruction des drains.

Dans la mesure du possible, ces événements doivent être soigneusement évités par une gestion contrôlée des opérations.

Il est possible de déterminer l'état des contraintes provoquant la liquéfaction des stériles à partir d'essais de compression triaxiale réalisés en laboratoire sur des matières consolidées et non drainées, associés à des mesures piézométriques relevées sur le terrain. En revanche, cette méthode pourrait ne pas tenir compte

4.6.5. Static Loading

In addition to the water loads discussed in the Section 4.4.2 of this document, the stability analysis of tailing dams shall consider the tailings shear strength properties and the pore pressure generated during loading, as discussed in Section 4.5 of this document, as well as for the other dam construction and foundation materials.

The geometry of the phreatic surface, as discussed in Section 4.6, as well as the piezometric pressures from the gravity flow are also important parameters to be determined.

4.6.6. Tailings Load on the Dam

The mass of the tailings and the consolidation of the tailings can impose loads on the dam that need to be considered in the design.

Consolidation of tailings can impose a “downdrag” force on the upstream slope of the dam and may also give rise to excess pore pressures. The force can be a significant consideration for high concrete faced or membrane faced dams and on the concrete of decant structures.

4.7. STATIC LIQUEFACTION

Static liquefaction of loose tailings can result when the loading conditions are sufficient to increase the pore pressures to the critical level, lowering the effective stresses to values close to the limit equilibrium condition. This may result in liquefaction of the tailings due to a collapse of its inter-particle structure. This typically occurs when the rate of construction raising is faster than the pore pressure dissipation. Other “trigger” events can also include:

- Loading due to vibrations, e.g. from bulldozer operation and/or haul trucks continually running over an area;
- An increase in groundwater levels, e.g. artesian conditions may be initiated due to high precipitation events or deteriorating drainage conditions such as silting or blocking of drains.

These causes should be rigorously avoided wherever possible by controlled operational management.

It is possible to determine the stress state leading to liquefaction of the tailings from consolidated, undrained laboratory triaxial tests together with piezometric measurements in the field. However this may not address the variability of the material adequately. Accordingly, in addition to carrying out laboratory tests

adéquatement de la variabilité des matériaux. Par conséquent, en plus d'effectuer des essais en laboratoire et de prendre sur le terrain les mesures piézométriques, il est recommandé d'utiliser un coefficient de sécurité majeur pour les conditions de conception lorsque la liquéfaction des stériles miniers risque d'entraîner une rupture du parc à résidus.

Dans le cas des sables de stériles mis en dépôt de façon hydraulique dans un état meuble, l'indice des vides pourrait s'avérer supérieur à l'indice des vides critique. Le potentiel de liquéfaction de tels résidus peut être vérifié par des essais de compression triaxiale non drainés sur des échantillons parfaitement saturés. Durant la phase de mise en charge dans l'essai, le déviateur augmente dans un premier temps, mais présente ensuite une forte diminution jusqu'à ce qu'il approche la rupture, à un niveau de contrainte grandement inférieur à la valeur de pointe.

La réponse dans un état non drainé des stériles meubles est un comportement instable, et à mesure que le déviateur maximal approche, le processus de rupture s'amorce. La capacité de soutien eau/particules des stériles se perd à mesure que la résistance au cisaillement effective diminue en raison de l'augmentation de la pression interstitielle. À la fin du processus, les stériles ont complètement perdu leur résistance au cisaillement lorsque la contrainte effective tombe à zéro. À ce point, ils se comportent comme un fluide dense.

Si une masse de stériles miniers meubles et saturés se forme lors de la construction d'un barrage de stériles construit selon la méthode amont ou dans les fondations de la structure du barrage, ces stériles risquent de se liquéfier en raison du processus décrit précédemment. Dans plusieurs cas de liquéfaction observés, on constate la présence d'un « élément déclencheur » comme une vibration due à une explosion, ou au passage de l'équipement, ou tout autre changement de la charge amorçant le processus de liquéfaction.

Dans certains cas, l'effet « déclencheur » peut être lié à une augmentation du taux de saturation. Une saison des pluies continues, associée à de fortes précipitations et à de mauvaises conditions de drainage au pied de la pente aval d'un barrage fondé sur des stériles miniers meubles, peut provoquer la saturation des stériles au niveau des fondations.

La conception d'un remblai s'appuyant sur des stériles ou sur des sables meubles doit prendre en considération la résistance au cisaillement obtenue lors d'essais de compression triaxiale réalisés sur des échantillons saturés, utilisant le déviateur maximal afin de déterminer la résistance au cisaillement disponible dont il faut tenir compte dans les analyses de stabilité.

Pour les remblais normaux, il est généralement admis qu'un coefficient de sécurité de 1,5 lors des analyses de stabilité représente un paramètre adéquat, lorsqu'on adopte la résistance au cisaillement en présence du déviateur maximal. En revanche, dans le cas des sables de stériles meubles, le coefficient de sécurité doit être supérieur, pour offrir une marge de sécurité suffisante. Un coefficient de sécurité plus prudent est donc recommandé.

L'utilisation de la résistance au cisaillement effective maximale dans l'analyse de stabilité des stériles meubles peut s'avérer non sécuritaire.

and field piezometric readings, a higher factor of safety should be used for design conditions where liquefaction of the tailings could lead to a storage facility failure.

For sandy tailings hydraulically placed in a loose state, the void ratio may be higher than the critical void ratio. The liquefaction potential of such tailings may be tested in specimens in an undrained triaxial test, sheared with full saturation. During the sequence of loading in the test, the deviator stress initially increases but is followed by a marked decrease until it approaches failure, at a stress much lower than the peak value.

The undrained response of these loose tailings is an unstable behavior and as the maximum deviator stress is approached, the process of failure begins. The water-granular support capacity of the tailings is lost as the effective shear resistance is decreased, because of the increased pore pressure. At the end of the process, the tailings have totally lost the shear resistance as the effective stress drops to zero. At that situation it behaves like a dense fluid.

If a loose and saturated tailings mass is formed as part of an upstream tailings dam or as the foundation of the dam structure, the tailings may liquefy due to the processes discussed above. In several observed cases of liquefaction, there is a “trigger” effect like a blasting vibration, or from equipment passing, causing vibration, or any other load change that induces the on-set of the process of liquefaction.

In some cases the “trigger” effect may be caused by an increase in the degree of saturation. A continuous rainy season, with high precipitation and bad drainage conditions at the toe of the downstream slope of the dam, founded in loose tailings, may saturate the foundation tailings.

The design of an embankment founded on tailings or loose sand, shall consider the shear resistance obtained by triaxial tests on saturated samples, using the maximum deviator stress to determine the available shear resistance for input to the stability analyses.

For normal embankments, it is generally accepted that a factor of safety of 1,5 in stability analyses is adequate, when using the maximum deviator stress shear resistance. However, for loose sand on tailings, the factor of safety shall be higher, to give adequate margin of safety. A more conservative safety factor is recommended.

The use of the maximum effective shear resistance, for stability analyses of loose tailings can be unsafe.

L'ouvrage *Some Considerations in the Stability Analysis of Upstream Tailings Dams* (Martin et McRoberts, 1999) représente une référence utile pour gérer les projets en prévenant leur liquéfaction statique.

Seulement dans les cas où de bonnes mesures de drainage sont prévues, garantissant des conditions de non-saturation, il est possible d'utiliser la résistance effective disponible.

4.8. LIQUÉFACTION DYNAMIQUE

La liquéfaction des stériles sous l'effet des charges sismiques est à l'origine de bon nombre de ruptures de barrages de stériles miniers construits selon la méthode amont survenues dans le passé. La liquéfaction des stériles peut également s'avérer une condition de charge critique dans le cas des barrages construits suivant la méthode de l'axe central. On admet généralement que la plupart des dépôts de stériles miniers se trouvent dans un état meuble (y compris les barrages en sables séparés par cyclonage et ceux utilisant la technique de mise en dépôt semi-aérienne). Par conséquent, ils sont susceptibles de se liquéfier, à moins qu'on prête une attention particulière au compactage des matériaux ou à la désaturation de la masse de stériles.

L'évaluation du risque de liquéfaction prévoit généralement les aspects suivants :

- Est-ce qu'une liquéfaction sera déclenchée dans des zones importantes sous la charge du séisme de dimensionnement ? et ;
- Le cas échéant, est-ce qu'un glissement par liquéfaction ou des déplacements incontrôlés risquent de se produire ? et dans le cas contraire ;
- S'agit-il de déplacements acceptables ?

À l'heure actuelle, la pratique courante traite les trois préoccupations précédentes dans le cadre de trois analyses distinctes : une analyse de déclenchement de liquéfaction, une analyse de glissement par liquéfaction, ainsi qu'une analyse de déplacement. La Fig. 1 présente un diagramme de processus de ces évaluations.

Dans une analyse de déclenchement de liquéfaction, les rapports de contrainte cyclique (CSR) produits par le séisme sont comparés aux rapports de résistance cyclique (CRR), afin de comprendre si les stériles se liquéfieront sous la charge du séisme de dimensionnement. Les rapports CRR (capacité) sont généralement élaborés à l'aide du décompte des coups de mouton dans le cadre d'un essai de pénétration normalisé (SPT) ou de la résistance obtenue par un essai de pénétration au cône (CPT). Les rapports CSR (demande) sont déterminés, pour leur part, à partir de la méthode de Seed simplifiée. Les auteurs Youd et collaborateurs (2002) présentent un survol des méthodes et des procédures permettant d'établir les rapports CSR et les rapports CRR. Plutôt que d'utiliser la méthode de Seed simplifiée, il est également possible d'estimer les rapports CSR à partir d'une analyse unidimensionnelle de la réponse du sol à l'aide d'un programme tel que SHAKE (Schnabel et coll. 1972).

Le potentiel de voir un glissement par liquéfaction ou des déplacements incontrôlés se produire est évalué à partir du coefficient de sécurité (FOS) obtenu

A useful reference for management against static liquefaction is *Some Considerations in the Stability Analysis of Upstream Tailings Dams*. (Martin and McRoberts, 1999).

Only in cases where good drainage provisions are made, allowing a guarantee of a non-saturated condition, may the available effective resistance be used.

4.8. DYNAMIC LIQUEFACTION

Liquefaction of tailings under seismic loading has historically been a cause of a number of upstream tailing dam failures. Liquefaction of the tailings can also be a critical loading condition for centerline dams. It is widely recognized that most tailing deposits are in a loose state (including cycloned sand dams and sub-aerial tailing deposits) and therefore susceptible to liquefaction unless special care is taken to compact the materials or to de-saturate the tailings mass.

Liquefaction assessment usually involves addressing the following concerns:

- Will liquefaction be triggered in significant zones under the design earthquake loading? and;
- If so, could a flow slide or uncontrolled displacements occur? and if not;
- Are the displacements tolerable?

The current State-of-Practice addresses the above three concerns in three separate analyses; a liquefaction triggering analysis, a flow slide analysis, and a displacement analysis. Fig. 1 provides a flowchart of the assessment process.

In a liquefaction triggering analysis, the earthquake induces cyclic stress ratios (CSR) are compared to the cyclic resistance ratios (CRR) to determine whether or not the tailings will liquefy under the design earthquake loading. The CRRs (capacity) are usually determined on the basis of Standard Penetration Test (SPT) blow counts or Cone Penetration Test (CPT) tip resistance and the CSRs (demand) are determined using the Seed's simplified method. Youd et al. (2002) outlines the methods and procedures for determining the CSRs and CRRs. As an alternative to the Seed's simplified method, CSRs can also be estimated from 1-D ground response analysis using program such as SHAKE (Schnabel et al. 1972).

The potential for flow slide or uncontrolled displacements is determined based on the factor of safety (FOS) obtained from a limit equilibrium stability analysis

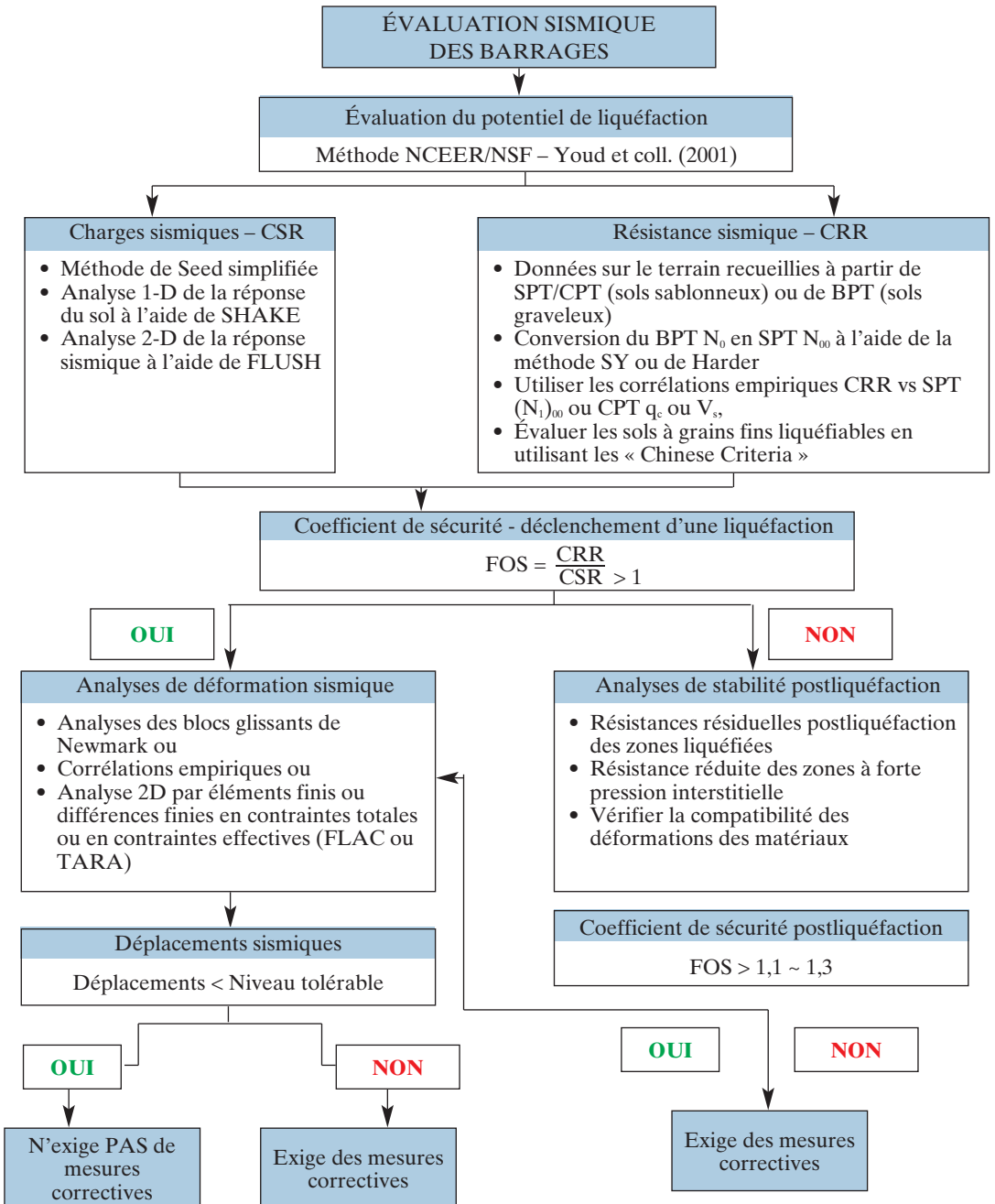


Fig. 1
Diagramme de processus de l'évaluation sismique

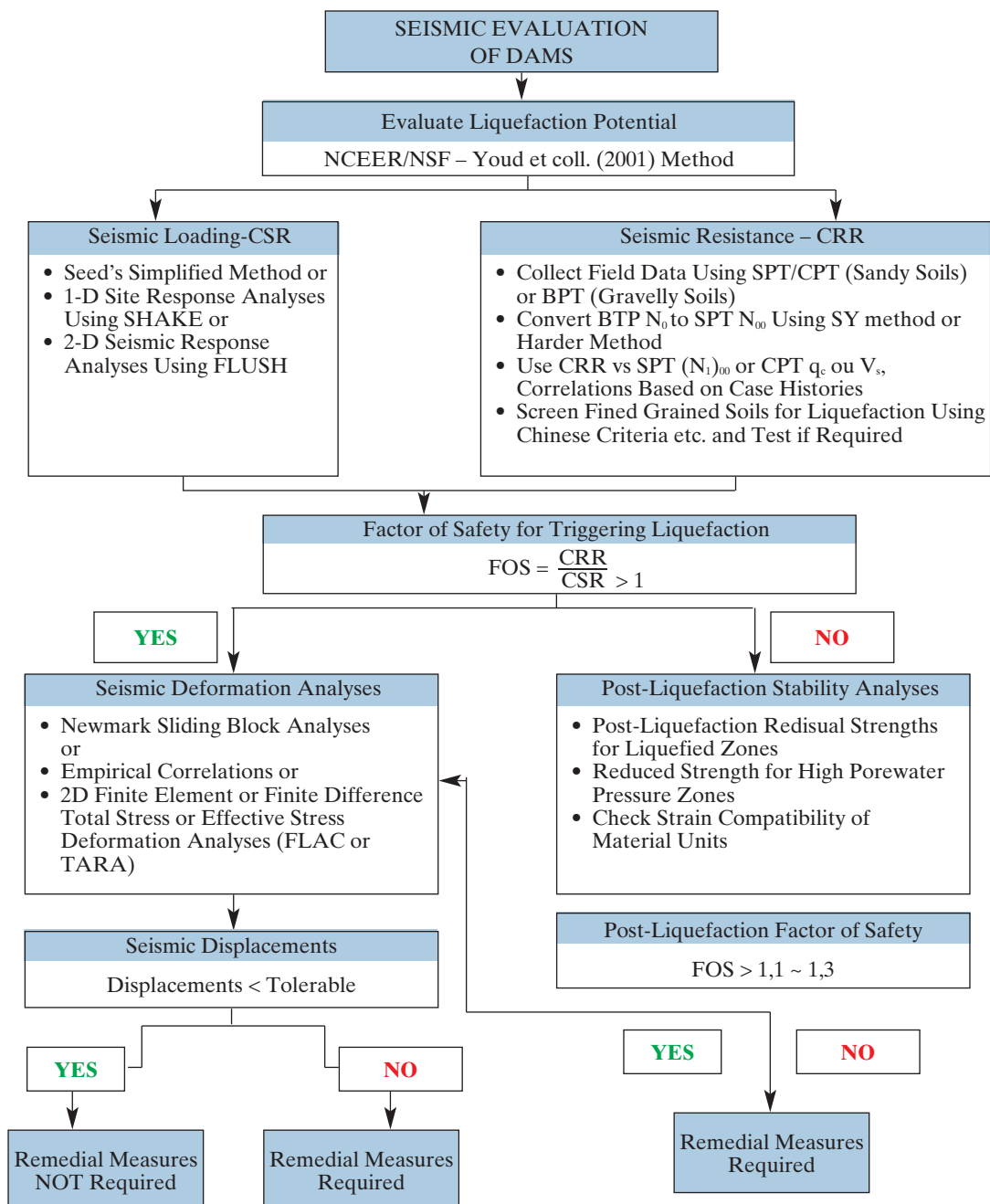


Fig. 1
Seismic evaluation flowchart

grâce à une analyse de stabilité aux états limites dans des conditions de postliquéfaction. Dans le cadre de cette analyse, les résistances résiduelles postliquéfaction sont utilisées dans les zones identifiées comme susceptibles de se liquéfier dans le cadre de l'analyse de déclenchement et le coefficient de sécurité est déterminé. Si le coefficient de sécurité calculé est supérieur à l'unité, alors il est peu probable qu'un glissement par liquéfaction survienne. En revanche, des déplacements peuvent tout de même avoir lieu. Dans le cadre de cette analyse, les résistances résiduelles sont habituellement établies à partir du décompte des coups de mouton d'un essai SPT (Seed et Harder, 1990, Olson et Stark, 2002) ou de la résistance obtenue par un essai CPT (Olson et Stark, 2002).

S'il est peu probable qu'un glissement par liquéfaction se produise, les déplacements permanents provoqués par les charges du séisme sont généralement déterminés grâce à une analyse des blocs glissants de Newmark (Newmark, 1965). Les variantes de la méthode des blocs glissants de Newmark proposées par Makdis et Seed (1978) et Hynes et Franklin (1984), tenant compte de la flexibilité du remblai et des effets d'amplification, sont également parfois utilisées afin d'évaluer les déplacements. Toutes ces méthodes offrent une estimation rudimentaire, mais généralement prudente des déplacements possibles.

Pour obtenir une évaluation plus évoluée des déplacements possibles, on peut réaliser une analyse non linéaire des différences finies ou une analyse de déformation dynamique à partir d'éléments finis à l'aide de programmes tels que FLAC (Itasca, 2006) ou TARA (Finn et coll., 1986). Elles peuvent se fonder soit sur une approche en contraintes totales (Beaty et Byrne, 1999) soit sur une approche en contraintes effectives (Beaty et Byrne, 1998, Finn et collaborateurs, 1986). Dans le cadre de l'approche en contraintes totales, la formation de pression interstitielle sous les charges sismiques n'est pas explicitement considérée. Dans l'approche en contraintes effectives, en revanche, elle fait l'objet d'une modélisation à l'aide de méthodes dissociées ou couplées.

Les références ayant trait à ce sujet sont présentées dans la Section 4.15 ci-après.

4.9. GEL ET CHARGES GÉOCHIMIQUES RELIÉES

4.9.1. Effets du gel et du dégel

Les parcs à résidus miniers situés dans les environnements ayant de basses températures présentent des conditions de charge particulières dont il est important de tenir compte dans leur conception et leur exploitation. Les éléments suivants sont à considérer :

Capacité de stockage inférieure

L'encapsulation de glace et de résidus miniers gelés de faible densité dans le bassin d'accumulation des résidus peut limiter la densité effective globale des résidus.

under post-liquefaction conditions. In this analysis, post-liquefaction residual strengths are used for the zones that are identified as potentially liquefiable in the triggering analysis and the FOS is determined. If the computed FOS is greater than unity then flow slide is unlikely to occur. However, displacements can still occur. For this analysis, the residual strengths are usually determined on the basis of SPT blow counts (Seed and Harder, 1990, Olson and Stark, 2002) or CPT tip resistance (Olson and Stark, 2002).

If flow slide is unlikely, the permanent displacements under the earthquake loading are usually determined from Newmark's sliding block analysis (Newmark, 1965). Variation of the Newmark sliding block methods proposed by Makdisi and Seed (1978) and Hynes and Franklin (1984) that considers the flexibility of the embankment and amplification effect are also sometimes used to estimate the displacements. All these methods provide crude but usually a conservative estimate of the likely displacements.

For more refined estimation of the likely displacements, non-linear finite difference or finite element based dynamic deformation analyses using programs such as FLAC (Itasca, 2006) or TARA (Finn et al., 1986) are conducted. They can be based on either total stress approach (Beatty and Byrne 1999) or effective stress approach (Beatty and Byrne, 1998, Finn et al. 1986). In the total stress approach, the development of pore water pressure under earthquake loading is not explicitly accounted for whereas, in the effective stress approach, it is modeled following decoupled or fully coupled methods.

References associated with this topic are presented in 4.15 following.

4.9. FREEZING AND GEOCHEMICAL RELATED LOADINGS

4.9.1. Freezing and Thawing Effects

Tailings facilities located in low temperature environments present special loading conditions to be considered in design and operation. These include the following:

Reduced Storage Capacity:

Encapsulation of ice and frozen low-density tailings in the impoundment can reduce the overall effective density of the tailings. This can be minimized by

Il est possible de contrer ce phénomène en contrôlant et auscultant les points de déversement par spigotage, afin de réduire le volume des stériles exposés à des conditions de gel. La mise en dépôt de résidus sous le couvert de la glace a également été utilisée afin de restreindre la superficie des zones de plage gelées et leur nombre.

Modification de la perméabilité

Les couches gelées dans les résidus miniers et dans le barrage peuvent créer des zones présentant des perméabilités diverses lorsque le dégel se produit, modifiant ainsi les surfaces de la nappe phréatique et les chemins d'écoulement. La construction du barrage devrait être programmée de manière à éviter la formation de telles zones. Dans certains cas, les barrages sont conçus pour être gelés, et une attention particulière doit alors être apportée afin de garantir que les matériaux de remblai gèlent et demeurent gelés. Pour ce faire, par exemple, on peut procéder à une construction contrôlée, maintenir le bassin d'accumulation à distance du barrage et incorporer des canalisations permettant de diffuser de l'air froid à l'intérieur du barrage.

Effets du dégel

Les bassins d'accumulation des résidus et les barrages auront un effet sur l'environnement thermique des fondations, particulièrement dans les régions de pergélisol. Le dégel du terrain qui s'en suit peut affaiblir la résistance des matériaux des fondations et modifier les conditions de la percolation.

Les publications suivantes de la CIGB sont d'intérêt :

- Bulletin 105 : *Barrages et ouvrages annexes dans des climats froids - Recommandations pour la conception - Exemples* (CIGB, 1996a).
- Ébauche de Bulletin : *Embankment Dams on Permafrost*. (CIGB, 2008, B133).

4.9.2. Charges géochimiques

La géochimie des stériles et des matériaux de construction peut provoquer ou modifier des réactions chimiques, qui peuvent altérer les propriétés physiques des roches et du sol. Même si bon nombre de ces processus ne sont pas très bien compris, le concepteur doit tenir compte du potentiel de charges géochimiques et de leur influence possible sur la conception.

Réactions d'oxydation et précipités

L'oxydation des minéraux sulfurés et/ou le stockage de matériaux oxydés, soit parmi les stériles ou dans le remblai du barrage, peuvent provoquer divers effets :

- Les stériles et les drains peuvent se cimenter avec les produits de l'oxydation, entraînant une perte de perméabilité. La cimentation peut également accroître fortement la résistance au cisaillement sans consolidation. La régularité de la cimentation, toutefois, semble être largement variable.

controlling and monitoring the spigot discharge locations, to reduce the volume of tailings exposed to freezing conditions. Discharge of tailings below the ice cover has also been used to reduce the area and quantity of frozen beach zones.

Modification of Permeability

Frozen layers in the tailings and in the dam can create zones with a different permeability when melting occurs thereby modifying the phreatic surfaces and flow paths. Construction of the dam should be scheduled to avoid incorporation of such zones. In some cases dams are designed to be frozen and care must be taken to ensure that fill materials freeze and stay frozen. This can be assisted, for instance, with controlled construction, maintenance of the impoundment away from the dam and incorporation of pipe “vents” to distribute cold air within the dam.

Thawing Effects

The tailings impoundment and dam will modify the thermal environment of the foundations, particularly in areas of permafrost. The resulting thawing of permafrost may result in lower strength foundation materials and modifications to seepage conditions.

The following ICOLD publications are of interest:

- Bulletin 105 : *Dams and Related Structures in Cold Climates – Design Guidelines and Case Studies* (ICOLD, 1996a)
- Draft Bulletin: *Embankment Dams on Permafrost*. (ICOLD, 2008, B133)

4.9.2. Geochemical Loadings

The geochemistry of the tailings and of the dam construction materials can introduce or modify chemical reactions, which can modify the physical properties of rocks and soils. While many of these processes are not clearly understood, the designer needs to consider the potential for geochemical loading and how this may influence the design.

Oxidation Reactions and Precipitates

The oxidation of sulphide minerals and/or the storage of oxidised materials, either in the tailings or the dam fill materials, can have a number of effects:

- Tailings and drains can become cemented with the oxidation products, resulting in a reduction in permeability. The cementation can also greatly increase the undrained shear strength. The consistency of cementation, however, appears to be widely variable.

- L'enrochement peut subir une altération chimique à l'origine d'une détérioration physique des particules et de la transformation de certains minéraux en argile. Cela engendre un angle de frottement interne inférieur, mais augmente la cohésion.
- Les précipités chimiques, découlant des matériaux oxydés, peuvent obstruer les éléments de drainage, ce qui entraîne une hausse du niveau de la surface de la nappe phréatique et une réduction de la stabilité. La construction de drains submergés, permettant de préserver la saturation de la couche de drainage, a été utilisée afin de maintenir des conditions anaérobies et de réduire les précipitations potentielles de minéraux.

Réactions chimiques avec les sols des fondations

Les propriétés chimiques des eaux de traitement des résidus peuvent causer une altération des propriétés de certains sols. Parmi de telles réactions, on trouve la transformation des minéraux en argile, pouvant favoriser une perte de résistance ou la formation de renards. Ces réactions peuvent également modifier la liaison chimique des argiles, provoquant un effondrement de l'argile ou une modification de ses propriétés géotechniques.

Les composés caustiques réagissent avec certaines argiles, déclenchant d'importantes pressions de soulèvement.

Pressions d'air/de gaz

Le phénomène de la formation de pressions d'air dans les zones de faible perméabilité du noyau, engendrant de très forts gradients hydrauliques à mesure que le matériau devient saturé, a été étudié en ce qui a trait aux barrages de retenue d'eau (voir les références dans la Section 4.15). Des réactions chimiques dans les stériles ou dans les remblais de construction pourraient également introduire des pressions de gaz/d'air dans les matériaux. À ce jour, nous ne connaissons aucun document de référence relevant ces phénomènes potentiels. On devrait toutefois faire attention à ne pas utiliser des matériaux de construction comme le gypse ou les marnes, qui pourraient déclencher une réaction avec les eaux de rejet minier. Les stériles solides composant les résidus devraient également faire l'objet d'essais de réactivité avec les eaux de rejet.

4.10. CHARGES ASSOCIÉES AUX RISQUES GÉOLOGIQUES

Les charges associées aux risques géologiques, qu'il s'agisse de glissements de terrain, d'éboulements, d'avalanches de neige, d'écoulements de débris, de transports de sédiments ou de processus colluviaux, doivent être prises en compte dans la conception du barrage. La période de récurrence de ces événements utilisée dans la conception doit être cohérente avec les autres critères de conception en matière de sécurité (p. ex. inondations et séismes).

- Rock fill can undergo chemical weathering that causes physical deterioration of the particles and alteration some minerals into clay. This results in a lower angle of internal friction, but increases the cohesion.
- Chemical precipitates, leaching from the oxidized materials, can plug drainage elements which lead to increased phreatic levels and reduced stability. Construction of submerged drains to keep the drainage layer saturated, have been used to maintain anaerobic conditions and reduce the potential precipitation of minerals.

Chemical Reactions with Foundation Soils

In some soils, the chemistry of the tailings process water can lead to alteration of the soil properties. Such reactions may involve alteration of minerals to clays, which could lead to strength reduction or piping. The reactions may also alter the chemical bonding of clays leading to collapse of the clay or modification of its geotechnical properties.

Caustic compounds react with some clays causing significant heave pressure.

Gas “Air” Pressures

The phenomena of air pressures in low permeability core zones which give rise to very high hydraulic gradients, as the material becomes saturated, has been documented with respect to water dams (see reference in 4.15). There is also a potential for chemical reactions in tailings or construction earth-fills to introduce gas-air pressures into the materials. To date, we are not aware of any documentation of these potential phenomena. However care should be taken not to use construction materials such as gypsum or marls that may react with the tailings waters. Tailings solids should also be tested for reactivity with the tailings waters.

4.10. GEOHAZARD LOADING

Geohazard loading, from landslides, rockslides, snow avalanches, debris flows, sediment transport and colluvial processes need to be considered in the design. The design return period for these events should also be consistent with other design criteria for dam safety (e.g. Flood and Seismic).

4.11. CHARGES SISMIQUES

En ce qui a trait aux barrages de stériles miniers, cet aspect est abordé dans le Bulletin 98 *Barrages de stériles et sismicité* (CIGB, 1998).

D'autres publications de la CIGB qui traitent de cet argument sont :

- *Observations sismiques des barrages*. Bulletin 113 (CIGB, 1999)
- *Aspects de la conception parasismique des barrages*. Bulletin 120 (CIGB, 2001a)

4.12. CONCEPTION DE LA FERMETURE

4.12.1. Introduction

Le Chapitre 7 aborde les aspects critiques de la fermeture des barrages de stériles miniers.

Il est essentiel de planifier la fermeture et d'intégrer des mesures à cet effet dès le début du processus de conception générale et détaillée de tout nouveau parc à résidus miniers. On s'assure ainsi que la sécurité environnementale et les aspects esthétiques à long terme sont couverts et pris en charge. La méthode de fermeture à adopter et l'affectation du terrain après la fermeture devraient par conséquent être décidées.

4.13. CONCEPTION DU BILAN HYDRIQUE

4.13.1. Introduction

Une bonne conception du bilan hydrique du parc à résidus miniers, tenant compte de toutes les entrées et sorties hydrauliques possibles, est essentielle afin de garantir le succès de l'exploitation des installations, sans risque pour la structure.

Le Bulletin 121 de la CIGB (2001b) démontre que l'une des principales causes d'incidents et de ruptures associées aux barrages de stériles miniers est un bilan hydrique mal planifié et géré.

Les paragraphes qui suivent traitent de certains des plus importants aspects du bilan hydrique.

4.13.2. L'équation du bilan hydrique

L'équation de base pour déterminer l'équilibre du bilan hydrique d'un parc à résidus miniers est la suivante :

Variation de stockage = Flux d'eau entrant – Pertes – Flux d'eau sortant.

4.11. SEISMIC LOADING

This subject as related to tailings dams is covered in Tailings Dams and Seismicity. Bulletin 98 (ICOLD, 1998).

Other ICOLD publications on the subject are:

- *Seismic Observation of Dams*. Bulletin 113 (ICOLD, 1999)
- *Design Features of Dams to Resist Seismic Ground Motion*. Bulletin 120 (ICOLD, 2001a)

4.12. DESIGNING FOR CLOSURE

4.12.1. Introduction

Chapter 7 covers the subject of the critical aspects of tailings dam closure.

It is essential that planning and provision for closure be incorporated from the beginning of the conceptual and detailed design process of any new tailings storage facility, in order that the long term environmental safety and aesthetic aspects are covered and catered for. This would include the closure method to be adopted and a decision on post closure land use.

4.13. WATER BALANCE DESIGN

4.13.1. Introduction

A well designed Tailings Storage Facility (TSF) water balance, incorporating all potential water balance inputs and outputs, is essential in order to ensure subsequent successful operation of the facility without risk to the structure.

It is well documented in ICOLD Bulletin 121 (ICOLD, 2001b), that inadequate provision for and management of the water balance, is one of the primary causes for incidents and failures associated with tailings dams.

Some of the important water balance aspects are dealt with hereunder.

4.13.2. The Water Balance Equation

The basic equilibrium TSF pool water balance equation is :

Change of Storage = Input – Losses – Output.

Les composants du bilan peuvent être résumés comme suit :

Variation de stockage

Une variation de stockage dans le bassin d'un parc à résidus miniers se produira si le flux entrant est supérieur au flux sortant. Ce phénomène influencera la revanche du bassin et représente un événement à risque important, pouvant provoquer un déversement au-dessus de la paroi du barrage ou une rupture complète du barrage.

Il est donc essentiel de bien comprendre toutes les variations de stockage et de les prendre en charge dans la conception.

Flux entrant dans le parc à résidus miniers

Le flux d'eau entrant dans un parc à résidus miniers dans le cadre de l'exploitation normale comprend :

- l'eau de transport des stériles ;
- les précipitations directes de pluie et/ou de neige dans le bassin de retenue, conformément aux événements météorologiques de conception ;
- les apports naturels des zones de drainage ;
- le retour des eaux d'exfiltration et des drains au bassin du barrage.

Parmi les flux entrants anormaux possibles, qui peuvent avoir un effet négatif sur le bilan hydrique et dont on doit par conséquent tenir compte, on trouve :

- les eaux ou les effluents amenés au barrage de sources externes ;
- les averses extrêmes, non prévues dans la conception.

Pertes du parc à résidus miniers

Les pertes de base d'un parc à résidus miniers sont :

- la rétention dans les vides : le volume d'eau retenu de façon permanente dans les cavités est une fonction des propriétés de consolidation des stériles et/ou de leur comportement lors du séchage. La rétention dans les vides représente une variable dynamique qui se réduit au fil de la consolidation ;
- l'évaporation : il s'agit tant de l'évaporation se produisant dans le bassin des eaux de traitement que de celle qui survient dans la partie exposée des plages de résidus ;
- les exfiltrations : il s'agit tant des exfiltrations du bassin que de celle des plages du parc à résidus miniers ;
- autres pertes : dans les climats froids, la glace peut être encapsulée de façon temporaire ou permanente à l'intérieur des résidus, entraînant ainsi une perte d'eau. La volatilisation de la neige dans les bassins ou les zones de drainage peut également provoquer des pertes d'eau.

Flux d'eaux sortant du parc à résidus miniers

Il est possible de calculer le flux sortant exigé, lorsqu'on ne nécessite aucune variation ou si une variation contrôlée est requise. Il est possible de dimensionner conformément aux besoins les installations de décantation, les installations de rétention pour le retour des eaux vers les installations.

The balance components can be summarised as follows:

Change of Storage

A change of storage in the TSF pool will occur if the input is greater than the output. This affects the pool freeboard and is a major risk event that can lead to overtopping of the dam wall and a complete breach of the dam.

It is therefore essential that any change of storage event is fully understood and catered for in the design.

Input to the TSF

Normal operating inputs to the TSF are:

- Tailings transport water
- Direct rain and/or snow precipitation onto impoundment, from design storm events
- Runoff from contributing drainage areas
- Seepage or filter drain discharge recovery returned to the dam.

Possible abnormal inputs, which can have a negative effect on the water balance, and which must then be accounted for, can include:

- Water or effluent delivered to the dam from extraneous sources
- Extreme storm events not allowed for in the design.

Losses on the TSF

Basic losses from the TSF are:

- Void Retention: the volume retained permanently in the voids is a function of the consolidation properties of the tailings and/or its drying behaviour. The void retention is a dynamic variable that reduces with ongoing consolidation.
- Evaporation: evaporation from both the process water pond and the exposed portion of the tailings beach.
- Seepage: seepage from both the TSF pool and the TSF beaches.
- Other losses: in cold climates, ice can be temporarily or permanently encapsulated within the tailings resulting in a loss of water. Snow sublimation within the impoundment or drainage area can also lead to water losses.

Out put from the TSF

The required output, where no change or a controlled change of storage is required, can be calculated. Decant facilities external stormwater retention facilities and pumps/pipelines for return of water to the plant can be sized accordingly.

Inversement, si la capacité de sortie à court terme de l'installation permettant de retirer de l'eau du barrage ne correspond pas au flux entrant à court terme suivant une averse ou provenant de sources externes, on assistera à une variation de stockage à court terme ou permanente dans le bassin, pouvant également être calculée. Une variation de stockage aura un effet sur la revanche de l'ouvrage. Dans certains cas, lorsque l'eau est de qualité adéquate pour être déversée dans l'environnement naturel ou lorsque le flux sortant est supérieur à l'averse de projet prévue par la loi, un évacuateur de crue ou un barrage déversoir peut évacuer les surplus.

4.13.3. Stockage du bassin du parc à résidus miniers

La relation entre la profondeur du bassin du parc à résidus miniers et sa capacité est requise afin de comprendre et de calculer l'élévation du niveau du bassin qui se produira lorsqu'une variation de stockage a lieu.

La relation entre la profondeur du bassin et sa capacité variera à mesure que le parc à résidus miniers se développera, au fil de son exploitation. Par conséquent, il est nécessaire de simuler le profil de la surface prévue et de la partie subaquatique de la plage de résidus à intervalles réguliers au cours de l'exploitation du parc à résidus miniers, et d'évaluer les variations de stockage de projet à l'égard de chacun pour connaître l'élévation du bassin et prévoir une revanche sûre.

4.13.4. Critères de dimensionnement concernant les crues

Le stockage prévu doit soit pouvoir accueillir la crue de projet soit offrir une atténuation suffisante pour permettre au système de décantation ou aux évacuateurs de crue d'urgence de gérer les flux. Les critères pour les crues de projet devraient être conformes aux critères de risque courants, tels que ceux publiés par la CIGB et par l'Association canadienne des barrages, en tenant compte des conséquences d'une rupture. Les valeurs types, qui peuvent varier d'un pays à l'autre, sont :

Conséquences	Période de récurrence de projet (période d'exploitation)	Période de récurrence de projet (postfermeture)
Faibles	200 à 500 ans	PMF
Modérées	500 à 1 000 ans	PMF
Élevées	1 000 ans à PMF	PMF

Les débits entrants ainsi que la durée des diverses crues doivent être attentivement analysés par des experts en hydrologie connaissant bien les caractéristiques locales et les dimensions de la zone de drainage. La gestion des crues devrait également prévoir les variables suivantes :

- Des conditions météorologiques pouvant entraîner des situations anormales, comme :
 - une fonte soudaine des neiges provoquée par de la pluie sur la neige ou par des fronts de températures élevées ;
 - une période de pluie extrême ;

Conversely, if the short term output capacity of facilities to remove water from the dam does not match the short term input from the storm event or extraneous sources, there will be a short term or permanent Change in Storage in the pool, and this can also be calculated. A change in storage will impact on the freeboard of the dam. In some cases where the water is of suitable quality for release to the natural environment or in cases where the output is in excess of the statutory design storm, a spillway or overflow structure can remove the surplus.

4.13.3. TSF Pool Storage

The depth/capacity relationship of the TSF pool is required in order to understand and calculate the rise in pool level that will apply when a change of storage occurs.

The pool depth capacity relationship will vary as the TSF develops over its operating life. It is therefore required to simulate the expected surface and underwater profiles of the tailings beach at selected intervals during the TSF operating life, and to assess the design change of storage for each in terms of pool rise and safe freeboard.

4.13.4. Flood Design Criteria

Storage is required to either store the design flood or to provide sufficient attenuation to allow the decant system or emergency spillways to handle the flows. The criteria for the flood design should follow conventional risk criteria such as those published by ICOLD and the Canadian Dam Association, depending on the consequences of failure. Typical values, which may vary from country to country, are:

Consequence	Design Return Period (operational period)	Design Return Period (post closure)
Low	200 to 500 years	PMF
Moderate	500 to 1 000 years	PMF
High	1 000 to PMF	PMF

Peak inflow rates as well as duration of different floods must be carefully analysed by hydrological expertise familiar with the local conditions and size of the drainage area. Flood management should also include the possibility of the following variables:

- Meteorological conditions that can lead to anomalous conditions, such as :
 - sudden snowmelt caused by rain on snow or high temperature fronts ;
 - an extreme period of rainfall ;

- des changements climatiques. Les événements climatologiques récents démontrent la nécessité d'adopter un principe de précaution.
- Un réexamen périodique de l'hydrologie du site devrait être réalisé pour tenir compte des modifications au régime climatique, incluant les effets des intervalles de projet et de la crue maximale probable.
- La rupture des systèmes de décantation/déviations en raison du glissement de débris, de glissements de terrain ou d'embâcles provoqués par la neige/la glace.
- La défaillance mécanique ou structurelle d'un système de décantation passive ou la défaillance de pompes (notamment en raison d'interruptions de l'alimentation) pendant une certaine période de temps avant qu'ils ne puissent être réparés.
- La qualité des eaux déversées lors d'événements extrêmes, lorsque de l'eau doit être évacuée de la retenue.

4.13.5. Revanche

La revanche de projet est définie comme la hauteur verticale séparant le niveau normal d'exploitation de l'étang surnageant d'un barrage de stériles miniers et la crête opérationnelle actuelle du barrage, à son point le plus bas sur le périmètre du barrage. La revanche réelle à un moment donné est la hauteur verticale séparant le niveau du bassin à ce moment et le niveau actuel de la crête.

Lorsque la paroi externe du barrage est formée à partir des stériles miniers déposés, la revanche peut être seulement procurée en grande partie par l'inclinaison de la pente et par la longueur de la plage de stériles exposée.

La possibilité d'utiliser des parties de la revanche lors de fortes crues doit tenir compte des critères de stockage pour l'exploitation et pour la gestion des crues, en plus des préoccupations habituelles ayant trait aux vagues et à l'élévation irrégulière de la crête du barrage. Dans la mesure du possible, une marge de sécurité permettant d'assurer la stabilité totale du barrage devrait être prévue, notamment dans des conditions sismiques au besoin. Il est essentiel de souligner les risques élevés associés à l'exploitation d'un barrage qui n'est pas doté d'une revanche adéquate.

Une revanche d'un mètre au-dessus du niveau de crue maximale est recommandée. La revanche représente un facteur de sécurité grâce auquel il est possible de se prémunir contre les variations des vagues, les variations de l'élévation de la crête et les variations de la conception. Dans le cas des barrages construits selon la méthode amont et suivant la méthode de l'axe central, la revanche devrait être considérée au-dessus de l'élévation correspondant à la longueur minimale exigée de la plage, devant être maintenue durant les crues.

4.13.6. Longueur de la plage

Une longueur de plage minimale doit être préservée pour les barrages à construction selon la méthode amont ou suivant la méthode de l'axe central. Cette longueur de plage minimale a, parmi ses objectifs, de protéger le facteur de sécurité

- climate change. Recent climate history demonstrates the need for adopting a precautionary principle
- Periodic review of the site hydrology should be undertaken to accommodate weather pattern changes, including the effect of design return periods and the PMF.
- Failure of decants/diversions due to debris slides, landslides or snow/ice jamming.
- Mechanical or structural failures of a passive decant system or failure of pumps (including power failure) for a period of time until they can be repaired.
- Water quality of discharge water during extreme events, when water must be released from the impoundment.

4.13.5. Freeboard

Design freeboard is defined as the vertical height from the normal operating level of the tailings dam supernatant pool, to current operational crest of the dam at its lowest elevation on the dam perimeter. The actual freeboard at any given time is the vertical height from the pond level at that time to the current crest level.

In cases where the outer dam wall is being formed using the tailings being deposited, freeboard may only be largely provided by the slope and length of the tailings exposed beach.

The allowance to utilise part of the freeboard during high floods must include operational and flood management storage requirements, as well as conventional concerns with waves, irregular dam crest elevations and possibly even a safety allowance to ensure the total stability of the dam, including under seismic conditions if necessary. The high risk associated with operating a dam with inadequate freeboard must be emphasised.

A freeboard of 1 m above the maximum flood level is recommended. The freeboard provides a safety factor against wave variations, crest elevation variations and design variations. For upstream and centerline dams, the freeboard should be considered above the elevation correspondent to the minimum required beach length, that shall be maintained during the flood event.

4.13.6. Beach Length

A minimum beach length shall be maintained for upstream and centerline construction dams. One of the purposes of this minimum beach length, is of maintain the minimum safety factor for stability purposes, keeping the phreatic level

minimal à des fins de stabilité, maintenant le niveau de la surface de la nappe phréatique suffisamment bas. La longueur minimale de la plage procurera également les conditions pour pouvoir faire en sorte que les stériles miniers demeurent émergés à proximité de la crête du barrage. De ce fait, ils présentent de plus fortes densités et améliorent leurs propriétés de résistance afin de soutenir l'élévation des digues devant être construites sur les stériles.

La longueur minimale de la plage doit être maintenue même lors des crues, de sorte que les exigences en matière de revanche soient respectées en accord avec la position du niveau du réservoir, à distance de la crête de barrage durant les crues.

La longueur minimale de la plage devrait être précisée par le concepteur, comme fonction des contraintes de stabilité.

4.13.7. Installations de décantation

Les installations de décantation d'un barrage de stériles miniers servent à séparer les eaux sortant de l'étang surnageant. La décantation peut se faire de manière passive, par exemple par des prises, tours, conduites, ou tunnels de décantation, ou encore de manière active comme à l'aide de systèmes de pompage. Des évacuateurs de crue d'urgence peuvent également être utilisés pour faire face aux événements extrêmes.

L'exploitation et le dimensionnement du système de décantation ont une influence directe sur les facteurs suivants :

- l'élévation du niveau d'eau du bassin à la suite d'une variation de stockage (flux sortant du système de décantation inférieur au flux entrant lors du passage des crues) ;
- la préservation d'une revanche adéquate ;
- les flux d'exploitation et les variations du volume des bassins externes de rétention des eaux provenant des crues et/ou des eaux de traitement ;
- la période pendant laquelle un niveau de bassin élevé provoqué par des événements météorologiques ou un flux entrant externe peut être toléré dans le parc à résidus miniers ;
- les effets potentiels d'un niveau élevé des eaux sur les niveaux de la surface de la nappe phréatique et sur la stabilité du barrage, à chaque phase de l'exploitation.

La capacité des installations de décantation doit par conséquent être adaptée pour pouvoir évacuer du barrage les eaux de traitement et les eaux provenant d'événements météorologiques extrêmes dans un délai le plus bref possible. Les installations de décantation et les évacuateurs de crue d'urgence doivent être soigneusement conçus pour répondre à toutes les combinaisons possibles de flux entrants pour lesquels les installations de traitement des stériles miniers doivent être conçues.

adequately low. Also the minimum length of the beach will give conditions for the tailings to be maintaining emerged in the vicinity of the dam crest, assuming higher densities and so, improving the strength characteristics, for the support of the heightening dikes, to be constructed on the tailings.

The minimum beach length shall be maintained even during the flood event and so the freeboard requirements shall be satisfied for the position of the reservoir level, kept away from the dam crest during the floods.

The minimum beach length shall be specified by the designer, as a function of the stability constraints.

4.13.7. Decant Facilities

The decant facility on a tailings dam is provided to remove outflow water from the supernatant pool. Decants can be passive, e.g. decant intakes, towers, pipes, tunnels; or active, as with pumping systems. Emergency spillways may also be used to manage extreme events.

The operation and sizing of the decant has a direct bearing on the following:

- Poll level rise due to a change of storage (decant outflow less than storm inflow)
- Maintenance of adequate freeboard
- Operational flows and changes in volume of the external stormwater retention and/or process water ponds
- The length of time that high TSF pool levels caused by storm events or external inputs can be accepted on the TSF
- Potential impacts on phreatic levels and dam stability due to higher water levels at each stage of operation.

The decant facility must therefore be sized to remove process water and extreme event water from the dam in as short a period as possible. Decant facilities and emergency spillways must be carefully designed to cover all possible combinations of inflows that the actual tailings facility should be designed for.

4.13.8. Barrage de stockage externe des eaux de crue

Il est possible de stocker temporairement les eaux d'averses en excès d'un parc à résidus miniers dans le bassin d'accumulation des résidus et/ou dans des bassins de stockage externe, comme dans le bassin de reprise des eaux d'exfiltrations, à un barrage d'eau de procédé ou à un barrage construit spécialement pour la retenue des eaux pluviales.

Le recours au bassin d'accumulation des résidus pour le stockage des eaux en excès devrait généralement se limiter à de courtes périodes temporaires, de manière à rétablir rapidement la revanche en prévision d'autres événements et de restreindre la charge hydraulique sur le barrage de stériles miniers.

De nombreux barrages de stériles miniers, dans lesquels un bilan hydrique de l'exploitation est conçu pour inclure les eaux des crues sont dotés d'un bassin d'eau de procédé conçu pour accueillir les eaux provenant des installations de décantation du barrage de stériles avant qu'elles ne soit retournées vers le projet. Le barrage de ce bassin peut représenter un élément important dans le bilan hydrique, puisqu'il offre une capacité de stockage tampon intermédiaire pour les eaux en excès déversées du barrage de stériles miniers durant de fortes averses ou de violents orages. Il permet de retourner les eaux dans le procédé suivant un débit global plus uniforme.

4.14. FILTRES ET DRAINAGE

4.14.1. Généralités

La prévision de filtres et d'installations de drainage adéquats représente un élément essentiel de la conception et d'une exploitation réussie de tout barrage de stériles miniers.

Les Bulletins 97, *Barrages de stériles - Conception du drainage* (CIGB, 1994b) et 95, *Barrages en remblai - Filtres et drains granulaires* (CIGB, 1994a) de la CIGB abordent le sujet des filtres et du drainage.

La stabilité après la fermeture du projet doit être considérée de façon indépendante, mais celle-ci peut tout de même être influencée par les filtres et les drains de sortie prévus lors de la mise en service des installations.

Il n'est pas certain si les filtres et les drains installés peuvent continuer de fonctionner efficacement dans les conditions de fermeture à long terme. De plus, les aspects concernant le bilan hydrologique changeront après la fermeture. Le drainage et la stabilité postfermeture exigent donc des considérations distinctes et particulières (voir Chapitre 7 : Aspects critiques ayant trait à la fermeture).

4.15. RÉFÉRENCES

BEATY, M. H. ET BYRNE, P. M. (1998), *An Effective Stress Model for Predicting Liquefaction Behaviour of Sand*, in Proceedings of Specialty Conference on Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, Seattle, Vol. 1, pp. 766-777.

4.13.8. External Flood Water Storage Dam

Excess stormwater at a tailings disposal facility can be stored temporarily in the tailings impoundment and/or in external storage ponds, such as the seepage recovery pond, return water dam or a specific stormwater retention dam.

The use of the tailing impoundment for excess water storage should generally be restricted to a short and temporary duration so as to quickly restore freeboard for additional events and to minimise the hydraulic load on the tailing dam.

Many tailings dams, where a closed water balance under design storm conditions must apply, are provided with a return water storage dam to receive water from the tailings dam decant facility, prior to transfer back to the plant. This dam can be an important component in the water balance in that it provides intermediate buffer storage for excess water drawn off the tailings dam during high rainfall or storm events. This allows return of water to the process at a more even overall flow rate.

4.14. FILTERS AND DRAINAGE

4.14.1. General

The provision of adequate filters and drainage facilities is an essential component of design and successful operation of any tailings dam.

ICOLD Bulletin 97, *Tailings Dams – Design of Drainage* (ICOLD, 1994b) and Bulletin 95, *Use of Granular Filters and Drains in Embankment Dams* (ICOLD, 1994a) cover the subject of filter and drainage.

Stability after closure must be given separate consideration, but may still be governed by the filter under drainage provided at initial commissioning of the facility.

It is not certain that installed filters and drains will continue to operate effectively in the long-term closure condition. Furthermore, water balance aspects after closure will change. Drainage and stability after closure therefore requires separate and specific consideration. (See Chapter 7: Critical Closure Aspects).

4.15. REFERENCES

BEATY, M.H. AND BYRNE, P.M. (1998), *An Effective Stress Model for Predicting Liquefaction Behaviour of Sand*, in Proceedings of Specialty Conference on Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, Seattle, ASCE GSP 75, Vol. 1, pp. 766 - 777.

- BEATY, M. H. ET BYRNE, P. M. (1999), *A Synthesized Approach for Modelling Liquefaction and Displacements*. FLAC and Numerical Modelling in Geomechanics. Proceedings of the International FLAC Symposium, Minneapolis.
- FINN, W. D. L., YOGENDRAKUMAR, M., YOSHIDA, N., ET YOSHIDA, H. (1986), TARA-3, *A Computer Program to Compute Response of 2D Embankments and Soil Structure Systems to Seismic Loadings*, Dept. of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC.
- HYNES, M. E. ET FRANKLIN, A. G. (1984). *Rationalizing the seismic coefficient method*. Misc Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- CIGB (1982-89) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Bibliographie - Barrages et dépôt de stériles miniers et industriel*. Bulletin 44A.
- CIGB (1994A) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages en remblai - Filtres et drains granulaires*. Bulletin 95.
- CIGB (1994B) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages de stériles - Conception du drainage*. Bulletin 97.
- CIGB (1995) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages de stériles et séismicité - Synthèse et recommandations*. Bulletin 98.
- CIGB (1996A) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages et ouvrages annexes dans des climats froids - Recommandations pour la conception - Exemples*. Bulletin 105.
- CIGB (1996B) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106.
- CIGB (1999) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Observations sismiques des barrages - Recommandations et exemples*. Bulletin 113.
- CIGB (2001A) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Aspects de la conception parasismique des barrages*. Bulletin 120.
- CIGB (2001B) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Tailings Dams. Risk of Dangerous Occurrences*. Bulletin 121.
- CIGB (2008) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages en matériaux meubles construits sur le Pergélisol*. Bulletin 133.
- ITASCA (2006), FLAC 5, *Fast Lagrangian Analysis of Continua*, Itasca Consulting Group, Inc. Minneapolis, MN.
- OLSON, S. M., ET STARK, T. D. (2002), *Liquefied Strength Ratio from Liquefaction Flow Failure Case Histories*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39, pp. 629-647.

- BEATY, M.H. AND BYRNE, P.M. (1999), *A Synthesized Approach for Modelling Liquefaction and Displacements*. FLAC and Numerical Modelling in Geomechanics. Proceedings of the International FLAC Symposium, Minneapolis.
- FINN, W.D.L., YOGENDRAKUMAR, M., YOSHIDA, N., AND YOSHIDA, H. (1986), TARA-3, *A Computer Program to Compute Response of 2D Embankments and Soil Structure Systems to Seismic Loadings*, Dept. of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC.
- HYNES, M.E. AND FRANKLIN, A.G. (1984). *Rationalizing the seismic coefficient method*. Misc Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- ICOLD (1982-89) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS.. *Bibliography – Mine and Industrial Tailings Dams and Dumps*. Bulletin No. 44A
- ICOLD (1994A) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Use of Granular Filters and Drains in Embankment Dams*. Bulletin No. 95.
- ICOLD (1994B) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings Dams – Design of Drainage*. Bulletin No. 97
- ICOLD (1995) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings Dams and Seismicity - Review and Recommendations*. Bulletin No. 98).
- ICOLD (1996A) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Dams and related structures in cold climate - Design guidelines and case studies*. Bulletin No. 105
- ICOLD (1996B) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin No. 106
- ICOLD (1999) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Seismic observation of dams-Guidelines and case studies*. Bulletin No. 113
- ICOLD (2001A) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Design features of dams to resist seismic ground motion*. Bulletin No. 120
- ICOLD (2001B) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *TAILINGS DAMS. Risk of Dangerous Occurrences*. Bulletin 121)
- ICOLD (2008) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Embankment Dams on Permafrost*. Bulletin 133
- ITASCA (2006), FLAC 5, *Fast Lagrangian Analysis of Continua*, Itasca Consulting Group, Inc. Minneapolis, MN.
- OLSON, S. M., AND STARK, T. D. (2002), *Liquefied Strength Ratio from Liquefaction Flow Failure Case Histories*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39, pp. 629-647.

- MAKDISI, F. I. ET SEED, H. B. (1978). *Simplified Procedure for Estimating Dam and Embankment Earthquake Induced Deformations*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 104, No. GT7, pp. 849-867.
- NEWMARK, N. M. (1965). *Effects of Earthquakes on Dams and Embankments*, Fifth Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 5, No. 2, pp. 139-160.
- SCHNABEL, P. B., LYSMER, J., ET SEED, H. B. (1972). *SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*, Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Centre, University of California, Berkeley, Calif., Feb.
- SEED, R. B. ET HARDER, L. F. (1990), *SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength*, Vol. 2, H. B. Seed Memorial Symposium Proceedings, May 1990.
- YOUNG, T. L., IDRISSE, I. M., ANDRUS, R. D., ARANGO, I., CASTRO, G., CHRISTIAN, J. T., DOBRY, R., FINN, W. D. L., HARDER, L. F., HYNES, M. E., ISHIHARA, K., KOESTER, J. P., LIAO, S. S. C., MARCUSON III, W. F., MARTIN, G. R., MITCHELL, J. K., MORIWAKI, Y., POWER, M. S., ROBERTSON, P. K., SEED, R. B., STOKIE II, K. H. (2002). *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. ASCE Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, Vol. 127, No. 10, pp. 817-833.
- BILLSTEIN, M., SVENSSON, U. (2002). *A numerical evaluation of air bubbles as a potential explanation to the higher than expected pore pressures in the core of WAC Bennet Dam*. Journal of Hydraulic Research, Volume 40. 2002. No.5.

4.16. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Il est recommandé de consulter les références suivantes au sujet des aspects critiques de la conception.

Général

VICK, S. G. (1983). *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*: John Wiley: *Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste Rock in Mining Activities* (21 MB, 550 pages).

Filtres et drains enfouis

CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA: *Guidelines for Environmental Protection* Volume 1: Tailings, Section 8.4.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*.

- MAKDISI, F.I. AND SEED, H. B. (1978). *Simplified Procedure for Estimating Dam and Embankment Earthquake Induced Deformations*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 104, No. GT7, pp. 849-867.
- NEWMARK, N. M. (1965). *Effects of Earthquakes on Dams and Embankments*, Fifth Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 5, No. 2, pp. 139-160.
- SCHNABEL, P.B., LYSMER, J., AND SEED, H.B, (1972). *SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*, Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Centre, University of California, Berkeley, Calif., Feb.
- SEED, R. B. AND HARDER, L.F. (1990), *SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength*, Vol. 2, H. B. Seed Memorial Symposium Proceedings, May 1990.
- YOUND, T.L., IDRISSE, I.M., ANDRUS, R. D., ARANGO, I., CASTRO, G., CHRISTIAN, J. T., DOBRY, R., FINN, W. D. L., HARDER, L. F., HYNES, M. E., ISHIHARA, K., KOESTER, J. P., LIAO, S. S. C., MARCUSON III, W. F., MARTIN, G. R., MITCHELL, J. K., MORIWAKI, Y., POWER, M. S., ROBERTSON, P. K., SEED, R. B., STOKIE II, K. H. (2002). *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. ASCE Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, Vol. 127, No. 10, pp. 817-833.
- BILLSTEIN, M., SVENSSON, U. (2002). *A numerical evaluation of air bubbles as a potential explanation to the higher than expected pore pressures in the core of WAC Bennet Dam*. Journal of Hydraulic Research, Volume 40. 2002. No.5.

4.16. FURTHER READING

Useful further references pertaining to critical design aspects are listed below.

General

- VICK, S.G. (1983). *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*: John Wiley: *Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste Rock in Mining Activities* (21 MB, 550 pages).

Filter Under-drainage

- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA: *Guidelines for Environmental Protection* Volume 1: Tailings, Section 8.4.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*.

Paramètres de stabilité

CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA: *Guidelines for Environmental Protection* Volume 1: Tailings, Section 8.5.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1999). Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage.

ABADJIEV, C.B. ET WILLIAMS, D (1997). Horizontal or Vertical Drains in Tailings Dams. *Second International Conference on Mining and Industrial Waste Management*, Johannesburg 2-4 June, pp 7.

Stability Parameters

CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA: *Guidelines for Environmental Protection* Volume 1: Tailings, Section 8.5.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*.

ABADJIEV, C.B. ET WILLIAMS, D (1997). Horizontal or Vertical Drains in Tailings Dams. *Second International Conference on Mining and Industrial Waste Management*, Johannesburg 2-4 June, pp 7.

5. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX CRITIQUES

5.1. GÉNÉRALITÉS

L'image de l'industrie minière a souffert de l'impact des accidents survenus de manière continue et ayant pour résultat le déversement de stériles et/ou des eaux de traitement dans l'environnement, de même que d'autres exemples de mauvaises pratiques en matière de gestion environnementale.

Chaque « incident » associé aux stériles de l'industrie minière a des répercussions négatives auprès du public pouvant, dans certaines circonstances, avoir pour résultat d'indigner l'opinion publique, se traduire par des pressions politiques, une chute potentielle du cours des actions de la société minière concernée, et enfin l'établissement de lois restrictives ou même d'interdictions touchant l'industrie.

L'exploitation des parcs de stériles peut être considérée comme étant formé de quatre phases distinctes et interreliées, c'est-à-dire la conception, la construction, l'exploitation et la fermeture ou la fin du projet. Chacune de ces phases exige qu'on accorde une attention toute particulière aux questions environnementales.

L'industrie minière, tout comme divers gouvernements ou les agences gouvernementales de certains pays, reconnaît les défis environnementaux associés à la gestion des stériles miniers et a produit bon nombre de recommandations pertinentes afin de guider les sociétés et les organismes de réglementation à gérer les stériles de manière efficace. Ces publications représentent une source d'informations pratiques considérables, et les lecteurs ayant besoin de plus amples renseignements sont invités à consulter dans un premier temps les références énumérées ci-après dans la Section 5.5, Lectures complémentaires. La plupart des recommandations traitent de la conception, de la construction, et des aspects visant la gestion des stériles au quotidien durant l'exploitation. Les lecteurs désirant de plus amples renseignements sur la phase de fermeture ou de fin de projet devraient consulter le Chapitre 7 du présent Bulletin.

Bien qu'on reconnaisse leur importance, les aspects sociaux ne sont pas traités dans le présent document.

5.2. CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

Pour mettre au point un plan de gestion environnementale des stériles adéquat, il est nécessaire de cerner les risques (facteurs pouvant provoquer des dommages) associés à l'exploitation. De manière générale, les risques associés à un plan de gestion des stériles sont distribués entre les risques associés à la conception, les risques de nature environnementale et les risques de nature économique. Des

5. CRITICAL ENVIRONMENTAL ASPECTS

5.1. GENERAL

The continuing occurrence of accidents resulting in release of tailings and/or process water into the environment and the other examples of low environmental management standards in the past, have impacted the mining industry's image.

Each "incident" associated with mining industry tailings produces a negative public reaction which can, under some circumstances result in public outrage, political pressure, potential loss of company share value and finally restrictive legislation or even industry prohibition.

Tailings operations can be considered as four separate but inter-related phases namely, design, construction, operation and closure or completion, each of which requires careful attention to environmental matters.

The mining industry and various governments or agencies in different countries have recognised the environmental issues associated with tailings management and have produced a number of effective guidelines to assist companies and regulators manage tailings effectively. These guidelines are a source of considerable practical information and the reader requiring more information is initially directed to the references listed below in Section 5.5: Further Reading. The majority of the guidelines deal with the design, construction and the day-to-day operational aspects of tailings management while readers are directed to Chapter 7 of this Bulletin for more information on the closure or completion phase.

Social aspects, while recognised as being important are not addressed in this document.

5.2. ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS

The development of an appropriate tailings environmental management plan requires the identification of hazards (factors that can potentially cause harm) relating to the operation. The risks relating to a tailings management plan fall broadly into the categories of engineering risk, environmental risk and economic risk. Appropriate strategies are required to address all identified risks in each

stratégies adéquates sont exigées pour répondre à tous les risques identifiés dans chacune des catégories; en outre, il est également important de comprendre les interrelations entre les risques.

Une approche systématique à la gestion des risques environnementaux devrait généralement avoir la forme suivante :

- identification des dangers ;
- préparation de concepts préliminaires ;
- évaluation des risques associés aux concepts ;
- modification du projet pour répondre aux aspects présentant un risque élevé ;
- réévaluation des risques, prévoyant la mise au point d'un plan de gestion des risques ;
- finalisation du projet ;
- mise en oeuvre ;
- suivi, améliorations conceptuelles au projet et gestion des risques.

La mise au point d'un système de gestion des stériles miniers conçu et géré de façon adéquate impose de tenir compte d'une multitude de facteurs environnementaux et techniques, parfois interreliés et possiblement en conflit, qui peuvent avoir un impact sur le choix de la conception appropriée.

Une étude d'impact sur l'environnement, tenant compte des commentaires pertinents provenant du grand public ou des populations concernées et touchées, représente une exigence particulière des organismes de régulation préalable à l'octroi de l'autorisation de procéder. Les critères varieront considérablement d'un pays à l'autre, mais ils prévoient normalement le critère commun de répondre aux impacts physiques potentiels des installations de traitement de stériles sur l'environnement physique et social.

Les facteurs énumérés ci-dessous représentent un survol des questions environnementales dont on devrait tenir compte dans une approche de conception fondée sur le risque.

Critères concernant l'emplacement en général

- fragilité écologique (par exemple, présence d'espèces rares ou menacées, proximité d'aires naturelles intactes ou de parcs nationaux, ressources en eaux de ruissellement ou en eaux souterraines) ;
- climat (par exemple, fortes chutes de pluie, températures sous le point de congélation) ;
- topographie générale (par exemple, pentes fortement inclinées, proximité de cours d'eau) ;
- géologie régionale (par exemple, possibilité de la présence de karsts, de sols sujets à l'effondrement ou dispersifs, de zones de cisaillement, d'affouillements existants ou potentiels, d'une carence en matériaux de construction, d'une nappe phréatique élevée) ;
- risque sismique (fortes charges sismiques, potentiel de liquéfaction) ;
- impact potentiel sur l'environnement humain et social.

category and it is also important that the inter-reaction of the risks with each other is recognised.

A systematic approach to environmental risk management would generally be as follows:

- identification of hazards ;
- preparation of preliminary design concepts ;
- assessment of risks associated with concepts ;
- modification of design to address high risk areas ;
- re-evaluation of risks, including development of a risk management plan ;

- finalisation of design ;
- implementation ;
- ongoing monitoring, design improvements and risk management.

The development of an appropriately designed and managed tailings system requires consideration of a multitude of sometimes inter-related and potentially conflicting environmental and technical factors that may impact on the selection of an appropriate design.

An environmental impact assessment, including relevant input from the general public or interested and affected persons is a specific requirement of the regulatory authorities before approvals to operate are issued. Requirements will vary considerably from jurisdiction to jurisdiction but normally include a common requirement to address the potential physical impacts of the tailings facility on the physical and social environment.

The factors listed below are an outline of the general environmental matters that should be considered through a risk-based design approach.

General Location Criteria

- environmental sensitivity (for example, rare or endangered species, proximity to un-spoilt areas or national parkland, surface water or groundwater resources) ;
- climate (for example, high rainfall, sub zero temperatures) ;

- general topography (for example, very steep, proximity to water courses) ;

- regional geology (for example, possibility of karsts, collapsing or dispersive soils, shear zones, existing or potential undermining, shortage of construction materials, high water table) ;

- seismic hazard (high earthquake loading, liquefaction potential) ;
- potential impact on the human and social environment ;

Critères concernant les stériles miniers

- caractéristiques géochimiques des stériles (par exemple, formation possible d'acide, lessive à pH élevé, métaux lourds, réactifs nuisibles) ;
- caractéristiques physiques et géotechniques des stériles (par exemple, résistance, propriétés de consolidation/drainage, potentiel d'érosion par le vent).

Critères concernant le site

- infrastructures en aval (quelles sont les conséquences d'un déversement de stériles/de lessive/de poussière de stériles, peu importe à quelle distance cela peut être perçu ?) ;
- limites du bien-fonds/cadastrales (sont-elles restreintes, de sorte que la zone soit trop petite, d'une forme étrange ou sans possibilité future d'expansion ?) ;
- minéralisation potentielle sous-jacente (y a-t-il une possibilité d'exploitation minière future ; de surface ou souterraine ?) ;
- topographie (y a-t-il une possibilité d'érosion/d'inondations provoquées par les eaux de surface ?) ;
- géologie/hydrogéologie (propriétés géotechniques, mesures spéciales requises de contrôle des infiltrations ?).

Gestion

- méthode de déposition des stériles (la méthode proposée est-elle la solution la mieux adaptée, compte tenu des conditions ?) ;
- bilan hydrique (risque-t-on de faire face à une carence/un surplus d'eau par rapport aux besoins du procédé ?) ;
- méthode de gestion des événements hydrométéorologiques ;
- suivi (des méthodes particulières sont-elles requises ?).

Autres considérations de nature environnementale

- facteurs socio-économiques (par exemple, les installations fourniront-elles des emplois aux communautés, auront-elles un impact négatif sur la qualité de vie par l'émission de poussières ou en fonction de critères esthétiques ?).

Fermeture

Les considérations concernant la fermeture comprennent :

- affectation des terres prévues après la fin de l'exploitation (agriculture, installations sportives, marécages, etc. ?) ;
- critères de fin de projet (qualité des eaux souterraines, aménagement de la végétation, taux d'érosion acceptable, etc. ?) ;
- stabilité physique, géotechnique et biologique à long terme.

Tailings Criteria

- geochemical character of tailings (for example, potentially acid forming, high pH liquor, heavy metals, noxious reagents);
- physical and geotechnical character of tailings (for example, strength, consolidation/drainage properties, susceptibility to wind erosion).

Site Criteria

- downstream infrastructure (what are the consequences of a release of tailings / liquor/tailings dust, however remote this may be perceived?);
- tenement/cadastral boundaries (is it constrained so that it is too small, an awkward shape or restricts potential future expansion?);
- potential underlying mineralization (is there a possibility of future mining or undermining?);
- topography: (is there a possibility of surface water erosion/flooding?);
- geology/hydrogeology (geotechnical properties, special seepage control measures required?).

Management

- tailings deposition method (is proposed method the most appropriate for the conditions?);
- water balance (is there a potential shortage/surplus of suitable water?);
- method of managing storm events;
- monitoring (are special methods required?).

Other Environmental Considerations

- socio-economic factors (for example, does the facility provide community employment, impact detrimentally on quality of life through dust or aesthetics?).

Closure

Closure considerations include:

- intended post-operational land use (agriculture, sporting facility, wetland etc.);
- completion criteria (ground water quality, vegetation establishment, acceptable rate of erosion, etc.);
- Long term physical, geotechnical and biological stability.

Après que les facteurs énumérés ci-dessus ont été pris en considération et qu'une conception fondée sur le risque a été adoptée, les risques environnementaux peuvent éventuellement être réduits ultérieurement en soumettant la conception proposée à l'examen des pairs.

5.3. CONSTRUCTION

La phase de construction d'un parc à résidus miniers doit faire l'objet d'une étroite supervision environnementale par des personnes compétentes afin de veiller à ce que les structures soient construites en respectant la conception et les devis techniques, et que l'environnement naturel existant soit protégé dans la mesure possible durant la période d'implantation. Bon nombre des problèmes environnementaux associés aux structures de gestion des stériles miniers concernent les fondations et les autres ouvrages de génie comme les systèmes de décantation. Dans bon nombre d'incidents, on considère que le manque d'attention aux détails durant la construction représente un facteur ayant contribué aux événements.

Un dossier historique détaillé de la construction, comprenant toutes les informations sur les problèmes et les conditions imprévues rencontrés, avec des photographies et un registre des inspections réalisées durant la construction, devrait être assemblé et conservé. Ce dossier représenterait une aide précieuse si quelques travaux de protection environnementale devaient être requis plus tard.

5.4. EXPLOITATION

Toute installation de traitement des stériles miniers exige la préparation et la mise en oeuvre d'un plan de gestion environnementale. Comme décrit dans les Sections 4.12 et 6.6, ce plan devrait être mis au point au départ, dès la conception des installations; il devrait en outre être modifié progressivement afin d'assurer une exploitation des installations sûre et acceptable d'un point de vue environnemental.

Cette mesure est plus efficace lorsque le manuel d'exploitation propre au site prévoit tous les critères en matière d'environnement, du suivi aux mesures d'intervention.

Une bonne gestion des eaux des installations de gestion des résidus miniers représente la plus importante mesure que les exploitants peuvent prendre afin de garantir une performance environnementale satisfaisante. Cela comprend une maîtrise soignée du niveau et de la position de tout étang surnageant, une auscultation régulière de la qualité des eaux (analyse chimique), incluant les eaux interstitielles des stériles, les eaux souterraines et les effluents ou les produits de décantation. Toutes ces données doivent être soigneusement consignées et comparées aux valeurs et tendances prévues.

5.5. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

ANCOLD (1999). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation*, pp 58.

After consideration of the above factors and the adoption of a risk-based design, the environmental risks can potentially be further reduced by conducting a peer review of the design proposals.

5.3. CONSTRUCTION

The construction phase of a tailings facility requires close environmental monitoring by competent persons to ensure the structures are built to the correct design and specifications and that the existing natural environment is protected to the greatest possible extent during the construction process. Many environmental problems associated with tailings structures concern the foundations and other engineered features such as the decant systems. In many tailings incidents the lack of attention to detail during construction is cited as a contributing factor.

A detailed construction history of the facility, including any information on problems encountered, unexpected conditions encountered, together with photographs and a record of inspections undertaken during construction should be compiled and kept. This record will greatly assist in any environmental remedial work that may be required at a later date.

5.4. OPERATIONS

All tailings operations require the preparation and implementation of an environmental management plan. This plan should be developed initially during the design of the facility, as highlighted in 4.12 and 6.6, and should be progressively modified to ensure the safe and environmentally acceptable operation of the facility.

This is most effective when the site-specific operations manual for the facility includes all the environmental requirements from monitoring and intervention action.

The correct management of water at tailings facilities is the single most important action operators can take to ensure sound environmental performance. This includes the careful control of the level and position of any supernatant water pond, regular monitoring of the water quality (chemistry), including the tailings pore water, the groundwater and the effluent or decant. All of this data should be carefully documented and compared to the predicted values and trends.

5.5. FURTHER READING

ANCOLD (1999). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation*, pp 58.

- AGDEH (1999). AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT. *Best Practice Environmental Management in Mining. Environment Australia.*
- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (1996). *Guidelines for Environmental Protection*, Vol. 1/1979 (revised 1983 and 1995), pp 190.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*, Perth, Government of Western Australia.
- ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998). *Cyanide Management*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (1995). *Tailings Containment*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.
- CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages de stériles et environnement*. Bulletin 103.
- CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Auscultation des barrages de stériles*. Bulletin 104.
- CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106.
- AMC (1998). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Un guide de gestion des parcs à résidus miniers*.
- AMC (2002). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance*.
- MINISTERIAL COUNCIL ON MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES / MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*.
- WILLIAMS, D.A. (2001). *Reducing the Environmental Impacts of a Tailings Storage Facility*. In Proceedings IIR Fine Particle Processing and Tailings Summit, Perth, Australia, 2-4 July.

- AGDEH (1999). AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT. *Best Practice Environmental Management in Mining. Environment Australia.*
- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (1996). *Guidelines for Environmental Protection*, Vol. 1/1979 (revised 1983 and 1995), pp 190.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*, Perth, Government of Western Australia
- ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998). *Cyanide Management*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (1995). *Tailings Containment*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.
- ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS *Tailings Dams and Environment*. Bulletin 103.
- ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS *Monitoring of Tailings Dams*. Bulletin 104.
- ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS *A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin 106.
- MAC (1998). THE MINING ASSOCIATION OF CANADA *A Guide to the Management of Tailings Facilities*.
- MAC (2002). THE MINING ASSOCIATION OF CANADA *Operation, Maintenance and Surveillance Manual*.
- MINISTERIAL COUNCIL ON MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES / MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*.
- WILLIAMS, D.A. (2001). *Reducing the Environmental Impacts of a Tailings Storage Facility*. In Proceedings IIR Fine Particle Processing and Tailings Summit, Perth, Australia, 2-4 July.

6. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À L'EXPLOITATION

6.1. GÉNÉRALITÉS

La phase d'exploitation d'un barrage de stériles miniers se poursuit souvent pendant plusieurs décennies. Par ailleurs, les conditions ayant mené aux hypothèses utilisées au stade de conception peuvent changer, parfois de façon radicale, en cours d'exploitation. Par conséquent, il est essentiel que la direction et les exploitants accordent une grande priorité aux activités de l'exploitation, à la fois pour garantir la conformité au projet initial et pour répondre aux changements dans l'exploitation. Cet aspect doit prévoir des inspections internes régulières, des inspections de sécurité externes, ainsi qu'un examen externe et indépendant de l'exploitation, particulièrement après un incident important survenu au barrage.

Les prochaines sections du présent document couvrent également certaines des considérations clés ayant trait à l'exploitation et nécessitant l'attention de divers intervenants.

Le Chapitre 9, « Vérifications externes », explicite la nécessité de vérifications périodiques par des experts externes. Cette mesure permet d'améliorer la sécurité constante des installations et de réduire les risques inévitables associés aux activités de gestion des stériles.

Le Chapitre 10, « Plan d'intervention en cas d'urgence », traite du devoir de disposer d'un plan d'intervention actif en cas d'urgence et de l'importance d'établir clairement la répartition des responsabilités. Il est ainsi possible de s'assurer que les anomalies ou les problèmes cernés durant le suivi des activités de déposition puissent être pris en charge de manière efficace et rapide.

Le Chapitre 11, « Le rôle des organismes de réglementation », explique en quoi les instances de réglementation jouent un rôle essentiel dans le processus de supervision de la mise en dépôt.

6.2. CONSTRUCTION PRÉALABLE À LA DÉPOSITION

La supervision des activités associées à la construction des ouvrages préalables à la déposition d'un barrage de stériles miniers, de manière à s'assurer leur conformité aux normes de conception, représente une partie intégrale et essentielle du processus de supervision global. Cette phase comprend la supervision de la construction des parois d'appui du périmètre, des drains de sortie, des installations de décantation et des autres ouvrages connexes du barrage.

6.3. GESTION DE L'EXPLOITATION

Les barrages de stériles miniers représentent d'importants investissements en capital, et le succès de leur exploitation constitue un facteur clé dans l'exploitation

6. CRITICAL OPERATION ASPECTS

6.1. GENERAL

The operation phase of a tailings dam often continues for several decades. Furthermore, the conditions pertaining to assumptions made at the design stage may change, sometimes quite radically, during the operation phase. It is therefore essential, both for ensuring compliance with the original design and to accommodate operating variations, that the operation be given a high level of priority from management and operators. This will include regular internal inspections, external safety inspections and external, independent operation reviews, particularly after a significant incident on the dam.

The following sections of this document also cover some of the key operational considerations requiring attention from different perspectives.

Chapter 9: External Audits, motivates the need for regular audits by an external expert. This action will improve the ongoing safety of the facility and reduce the inevitable risk associated with the tailings disposal operation.

Chapter 10: Emergency Preparedness covers the need for an active emergency preparedness plan, and the need for a clearly defined chain of responsibility. This ensures that defects or problems identified in the deposition monitoring process can be efficiently and promptly dealt with.

Chapter 11: The Role of Regulators explains how regulatory Authorities play an essential role in the deposition monitoring process.

6.2. PRE-DEPOSITION CONSTRUCTION

Monitoring of operations associated with the construction of pre-deposition works of a tailings dam, for compliance with design standards, forms an integral and essential part of the overall monitoring process. This will include monitoring of construction of perimeter starter walls, under-drainage facilities, decant facilities and other dam components.

6.3. OPERATION MANAGEMENT

A tailings dam represents a large capital investment and its successful operation is a key factor in the overall operation of the mine or industrial process. Therefore,

globale de la mine ou du processus industriel. C'est pourquoi il est essentiel que le processus d'exploitation bénéficie du soutien constant de la part de la direction ; une attention soignée doit également être accordée à la gestion des procédés de mise en dépôt des stériles par des personnes bien formées et compétentes. Cet aspect se doit d'être souligné.

L'exploitation devrait être accompagnée d'un manuel d'exploitation officiel et détaillé, mis à jour de façon régulière en fonction des inspections visuelles et des rapports de suivi afin de répondre à tout changement aux paramètres de conception ou d'exploitation.

Parmi les facteurs critiques dont il faut tenir compte pour garantir le succès des opérations, conformément aux critères de la conception, on trouve :

- le contrôle d'exploitation constant des installations de décantation ;
- la préservation de la largeur de la plage interne ;
- le maintien d'une revanche en cas de crue ;
- la supervision des pentes de la plage ;
- la mesure du taux d'exfiltration ;
- la mesure de la position de la surface de la nappe phréatique dans les limites des parois du barrage ;
- la mesure de la pression interstitielle ;
- l'enregistrement des mouvements de la paroi du barrage ;
- l'enregistrement des phénomènes sismiques ;
- l'enregistrement de la distribution de la dimension des particules de stériles acheminés ;
- le contrôle visant à s'assurer que le processus de déposition permet d'obtenir une ségrégation adéquate de la dimension des particules sur les plages ;
- un suivi régulier du comportement des parois et des plages, des propriétés physiques des stériles mis en dépôt, ainsi que des procédures de déposition ;
- la gestion et l'entretien des systèmes d'acheminement des stériles ;
- la mise à jour régulière des plans d'intervention liés aux suivis ;
- la gestion de toutes les données.

Ces facteurs devraient également être considérés dans la phase de postfermeture du barrage.

6.4. SURVEILLANCE D'UN BARRAGE DE STÉRILES MINIERS

La surveillance représente un élément crucial pour une gestion convenable des exploitations d'un barrage de stériles miniers. Les aspects suivants de la surveillance sont essentiels pour leur bonne marche :

- quels paramètres mesurer et vérifier, et de quelle manière ;
- suivi et inspections visuelles ;
- suivi des instruments de mesures ;

continuous support of the operation process from management and detailed attention to the management of the tailings deposition process by trained, competent persons is essential, and must be emphasised.

The operation process should be supported by a formal, detailed Operating Manual, updated on a regular basis according to visual inspections and monitoring reports to accommodate any changes in design or operation parameters.

Critical factors to be addressed to ensure successful operation in compliance with the design requirements include:

- constant operational control of the decant facility;
- maintenance of internal beach width;
- maintenance of storm freeboard;
- control of beach slopes;
- measurement of seepage discharge and turbidity;
- measurement of the internal phreatic surface within the dam wall;

- pore pressure measurement;
- recording of movements in the dam wall;
- recording of seismic events;
- recording of delivered tailings particle size distribution;

- ensuring that the deposition process achieves adequate particle size segregation on the beaches;
- regular monitoring of the behaviour of walls and beaches and physical properties of the deposited tailings, and the deposition procedures;
- management and maintenance of tailings delivery systems;
- regular updating of monitoring response plans;
- management of all data.

These factors should also be addressed in the post closure phase of the dam.

6.4. TAILINGS DAM SURVEILLANCE

Surveillance is an essential component of successful tailings dam operation. The following essential aspects of surveillance are critical to success:

- what and how to measure and control;
- visual monitoring and control;
- instrumentation monitoring;

- analyse et interprétation des données ;
- plans d'intervention en cas d'urgence ;
- chaîne de responsabilités.

Une surveillance adéquate comprend également la tenue soignée des dossiers de construction et de surveillance, de même que l'interprétation de ces données par des personnes expérimentées. La structure de gestion des exploitations doit inclure un parcours clair permettant de signaler les anomalies et un mécanisme pour justifier et mettre en œuvre des mesures correctives aux besoins.

6.5. GESTION DE LA DÉPOSITION

Le processus de mise en dépôt est un volet de l'ensemble de la gestion des exploitations qui requiert une attention particulière, surtout dans les cas où les stériles sont utilisés pour construire la paroi externe des barrages de stériles.

Le processus de mise en dépôt, associé à l'élévation de l'étang surnageant, détermine :

- la longueur de la plage ;
- l'inclinaison de la plage ;
- la revanche et la gestion des crues ;
- la consolidation des stériles.

La crête d'un barrage de stériles miniers s'élèvera au fil de la progression de la déposition. Cette élévation doit être effectuée de façon uniforme autour du périmètre du barrage. Par la gestion de l'épaisseur des couches de dépôt et de la durée du cycle de déposition autour du périmètre, il est possible d'obtenir une meilleure consolidation du séchage.

Tous ces facteurs sont propres à chaque barrage individuel et doivent être gérés de façon quotidienne afin de garantir le respect de la conception. Il s'agit d'un élément intégral du processus de surveillance.

6.6. GESTION DES EAUX D'EXPLOITATION

La Section 4.13 décrit en détail les questions liées à la conception du bilan hydrique d'un parc à résidus miniers.

La gestion de l'étang surnageant dans le cadre du processus global de gestion de la déposition représente un aspect clé de l'exploitation. Tous les éléments du bilan hydrologique doivent être surveillés et contrôlés étroitement.

Les bonnes pratiques reconnues veulent que la dimension et la profondeur de l'étang surnageant soient toujours maintenues au minimum praticables. Elles devraient être tout juste suffisant pour obtenir une faible teneur de solides en suspension dans les eaux extraites du barrage par l'entremise du système de décantation.

- analysis and interpretation of data ;
- emergency preparedness ;
- chain of responsibility.

Good surveillance includes the careful keeping of construction and surveillance records and the interpretation of these by experienced persons. The operation management structure must include a clear path for reporting of deviances and a mechanism for motivating and implementing remedial actions where necessary.

6.5. DEPOSITION MANAGEMENT

The tailings deposition process is a specific aspect of the overall operation management that requires specific attention, particularly in cases where the tailings product is being used to raise the outer wall of the tailings dam.

The deposition process, in association with the supernatant pool elevation, controls:

- beach length ;
- beach slope ;
- freeboard and flood management ;
- tailings consolidation.

The crest elevation of the tailings dam will rise with time as deposition progresses and must be raised evenly around the dam perimeter. By managing deposition layer thickness and deposition cycle time around the perimeter, more effective drying consolidation can be achieved.

These factors are all specific to each individual dam, but must be managed on a daily basis to ensure design compliance and must be an integral component of the surveillance process.

6.6. OPERATIONAL WATER MANAGEMENT

Section 4.13 sets out in detail the design aspects of the TSF water balance.

Management of the supernatant pool as part of the overall deposition management process, is a key aspect of operation and all aspects of the water balance must be monitored and controlled carefully.

Accepted good practice dictates that the supernatant size and depth should always be kept to a practical minimum, usually only sufficient to achieve a low suspended solids count in the water extracted from the dam via the decant system.

Le maintien du bassin à une dimension optimale et la surveillance associée visant à s'assurer qu'il soit constamment réglé permettront d'obtenir :

- une réduction de la percolation ;
- une augmentation de la revanche (de plus grandes plages) ;
- la surface de la nappe phréatique à un niveau inférieur.

6.7. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

ANCOLD (1986). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guideline on Design Floods for Dams*.

EU (2004) European Commission July 2004. Draft Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. 25 reference document *Edificio EXPO*, Seville, Spain.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*.

CIGB (1992). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Choix de la crue de projet*. Bulletin 82.

CIGB (1995). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages de stériles. Transport - Mise en place - Décantation - Synthèse et recommandations*. Bulletin 101.

CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Auscultation des barrages de stériles - Synthèse et recommandations*. Bulletin 104.

CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106.

AMC (1998). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Un guide de gestion des parcs à résidus miniers*.

AMC (2000). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux*.

MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*.

RIDAS (2002). (Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet) *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson.

SANCOLD (1990). SOUTH AFRICAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. Report No. 3. *Interim Guidelines on Freeboard for Dams*.

SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS (1998). *Code of Practice for Mine Residue Deposits*.

USCOLD (1994). UNITED STATES COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Tailings Dam Incidents*.

Management of the pool to an optimum size and the associated surveillance to ensure that this is always controlled will achieve:

- Reduced seepage
- Increased freeboard (larger beaches)
- Lower phreatic surfaces.

6.7. FURTHER READING

ANCOLD (1986). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guideline on Design Floods for Dams*.

EU (2004) European Commission July 2004. Draft Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. 25 reference document *Edificio EXPO*, Seville, Spain .

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*.

ICOLD (1992). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Selections of Design Flood*. Bulletin 82.

ICOLD (1995). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings Dams, Transport, Placement and Decantation - Review and Recommendations*. Bulletin 101.

ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Monitoring of Tailings Dams - Review and Recommendations*. Bulletin 104.

ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *A Guide to Tailings Dams and Impoundments - Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin 106.

MAC (1998). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *Guide to the Management of Tailing Facilities*.

MAC (2000). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *Developing an Operation, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Storage Facilities*.

MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*.

RIDAS (2002). (Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet). *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson.

SANCOLD (1990). SOUTH AFRICAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Report No. 3. Interim Guidelines on Freeboard for Dams*.

SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS (1998). *Code of Practice for Mine Residue Deposits*.

USCOLD (1994). UNITED STATES COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Tailings Dam Incidents*.

7. ASPECTS CRITIQUES AYANT TRAIT À LA FERMETURE

7.1. GÉNÉRALITÉS

Le présent chapitre représente un complément au Bulletin 103, Barrages de stériles et environnement - Synthèse et recommandations (CIGB, 1996), et met l'accent sur les progrès et les nouveaux développements réalisés depuis.

Selon la Banque mondiale/la SFI (2002), un nombre important de fermetures de mines devraient avoir lieu dans la prochaine décennie, particulièrement dans les pays en voie de développement. Divers facteurs contribuent à cette tendance. Tout d'abord, de nombreuses grandes mines modernes parmi celles ouvertes durant la vague d'investissements miniers et de privatisations de ce secteur au cours des années 1960 1970 et 1980 arrivent aujourd'hui à la fin de leur durée utile. Ensuite, les pressions accrues dans la bourse des marchandises ne permettent qu'aux producteurs plus rentables de survivre, entraînant la fermeture des exploitations moins profitables. En parallèle, les compressions fiscales dans les pays défavorisés réduisent les subventions directes et indirectes aux activités minières. Un troisième facteur pourrait être ajouté à l'affirmation précédente de la Banque mondiale/la SFI (2002), c'est-à-dire que les sociétés minières désirent devenir de bons citoyens corporatifs, ce qui comporte de prendre leurs responsabilités à l'égard des questions environnementales.

L'expérience concernant le comportement à long terme des stériles miniers existe, puisqu'on compte aux quatre coins du monde de nombreux parcs à résidus miniers construits depuis les débuts des activités minières. Les restes des stériles et des rejets des anciennes exploitations minières produisent encore de nos jours des quantités importantes (c'est-à-dire dans une mesure nocive pour l'environnement) de drainage minier acide (AMD). Ce phénomène met en lumière à quel point les barrages de stériles miniers et les terrils d'aujourd'hui doivent faire l'objet d'une restauration, afin d'éviter les répercussions négatives sur l'environnement immédiat après la fermeture (Bjelkevick, 2005a).

L'expérience concernant le comportement à long terme des parcs à résidus miniers est restreinte. La plupart sont encore dans la phase de la postfermeture. Nos connaissances sont en constante amélioration, mais les barrages de stériles miniers fermés et restaurés qu'on trouve de nos jours (2007) existent depuis moins d'une ou deux décennies. L'expérience quant à leur stabilité à long terme après la fermeture est donc toujours limitée. Dans le cas présent, le concept de « long terme » se définit comme 1 000 ans, ou plus.

7.2. INTRODUCTION

Afin de limiter les problèmes environnementaux à venir, la fermeture des parcs à résidus miniers doit prévoir les aspects à long terme concernant l'environnement, la sécurité et les critères esthétiques, tout en permettant une utilisation des terres

7. CRITICAL CLOSURE ASPECTS

7.1. GENERAL

This chapter is supplementary to Bulletin 103, Tailings dams and Environment – Review and Recommendations, (ICOLD, 1996), emphasising the progress and development achieved since then.

According to World Bank/IFC (2002), a large number of mine closures are expected over the next decade, particularly in developing countries. A number of factors are contributing to this trend. First, following a surge in mining investments and privatisation in the 1960s, 1970s and 1980s, many of the large modern mines established during this period are now moving toward the end of their economic life. Second, increased pressures on the commodity markets will leave room only for the most cost-effective producers, thereby leading to closure of less attractive operations. Concurrently, fiscal pressures in poor countries are reducing direct and indirect subsidies to mining operations. A third factor could be added to the World Bank/IFC (2002) statement above, namely that mining companies are mostly striving to be good corporate citizens including taking responsibility for environmental matters.

Experience of long term behaviour of tailings exists as several tailings storage facilities from early mining activities can be found around the world. Remains of tailings and waste from early operations still produces significant amount (i.e. amounts harmful for the environment) of acid mine drainage (AMD), which emphasise the importance of remediation of today's tailings dams and waste dumps in order to prevent negative environmental impact on the surrounding area after closure (Bjelkevick, 2005a).

Experience regarding the long term behaviour of tailings storage facilities (TSFs) is limited. Most are still in the phase of after care. Our knowledge is constantly increasing, but the closed and remediated tailings dams today (2007) are less than one or two decades old i.e. most experience of the long term stability of tailings dams after closure is still limited. In this case long term is defined as 1000 years, or more.

7.2. INTRODUCTION

To minimise future environmental problems, closure of TSFs must address the long term environmental, safety and aesthetic aspects and allow post operational use of the land. This is particularly important where natural groundwater and


par la suite. Cela est particulièrement important lorsque les eaux souterraines naturelles et les eaux de ruissellement risquent d'être affectées. Il faut tenir compte de ces aspects à toutes les étapes (voir Tableau 1) du traitement des résidus, c'est-à-dire dans la planification, la conception, la construction, l'exploitation, la fermeture et la phase postexploitation (à long terme).

Dans le présent chapitre, l'accent est mis particulièrement sur la phase de la fermeture (démantèlement, restauration et postfermeture) et sur la phase à long terme.

Les questions touchant la fermeture demandent la collaboration étroite de toutes les parties concernées (y compris les autorités gouvernementales et les communautés locales) pour faire en sorte que la conception de la fermeture réponde à leurs attentes raisonnables, à un coût soutenable pour l'exploitant.

La gestion de la fermeture exige une compréhension des délais prescrits. En théorie, la perpétuité représenterait l'idéal, mais pour permettre une conception raisonnablement pratique de la fermeture, « long terme » est souvent défini comme mille ans. La philosophie de la fermeture n'est pas de garantir aucun déversement, mais de limiter la dispersion de contaminants à un niveau acceptable d'un point de vue environnemental et d'assurer la stabilité à long terme du parc à résidus miniers. La restauration englobe les mesures requises pour assurer la stabilité et la sécurité environnementale à long terme du parc à résidus miniers et du site minier.

Tableau 1
Phases du traitement des résidus
(Bjelkevik, 2005a)

	Phase	Phase détaillée
Temps 	Planification	Évaluation environnementale Conception préliminaire Cote de danger
	Conception	Demande et réception des permis Conception détaillée
	Construction	Construction initiale
	Exploitation	Exploitation et construction continue
	Fermeture	Démantèlement Restauration Postfermeture
	Long terme	

Un projet de recherche suédois, MiMi (2004), définit certains critères fondamentaux pour les options de restauration réalisables des parcs à résidus miniers, comme :

- une vie fonctionnelle très longue ;
- des méthodes passives ;


stormwater flows may be affected. These aspects need to be considered through all the phases (see Table 1) of tailings management, i.e. planning, design, construction, operation, closure and the post operational (long term) phase.

In this chapter special emphasis is placed on the closure phase (decommissioning, remediation and after care) and the long term phase.

Closure matters require close consultation with all stakeholders (including government authorities and local communities) so that the final closure design meets the reasonable expectations of those stakeholders at a cost acceptable to the operating company.

Managing closure requires an understanding of the time frame. Perpetuity would be theoretically ideal, but to make closure design reasonably practicable, long term is often defined as thousands of years. The philosophy of closure is not to achieve zero discharge, but to minimise the release of contaminants to an environmentally acceptable level and to achieve long term stability of the TSF. Remediation encompasses the measures required to secure the long term stability and environmental safety of the TSF and the mine site.

Table 1
Phases of Tailings Management
(Bjelkevik, 2005a)

	Phase	Detailed phase
Time 	Planning	Environmental Assessment Preliminary Design Hazard Rating
	Design	Applying and Receiving Permits Detail Design
	Construction	Initial Construction
	Operation	Operation & ongoing Construction
	Closure	Decommissioning Remediation After Care
	Long term	

A Swedish research project, MiMi (2004), defines some fundamental requirements for feasible TSF remediation options as:

- Very long functional life
- Passive methods

- une construction solide et stable ;
- une longévité démontrée à l'avance, à partir de critères scientifiques valables ;
- une durée pertinente de cent ans ou plus ;
- une intégration écologique ;
- la perspective sociale doit également être prise en compte.

Le présent chapitre se concentre sur les nouveaux parcs à résidus miniers, dans le cadre desquels la fermeture peut représenter un aspect intégré à la conception originale. Il peut s'avérer difficile d'un point de vue technique et économique d'atteindre les mêmes objectifs pour les parcs à résidus miniers existants. Dans de tels cas, des solutions représentant des compromis particuliers aux sites peuvent être requises.

7.3. AFFECTATION DES TERRES POSTEXPLOITATION

La fermeture d'une mine (et de son parc à résidus miniers) exige que les terres puissent avoir une affectation utile (Banque mondiale/SFI, 2002). D'étroites consultations avec toutes les parties concernées sont essentielles pour décider de l'affectation finale des terres. L'affectation choisie déterminera la nature des travaux de démantèlement et de restauration requis, ainsi que l'étendue des travaux de postfermeture.

7.4. PROCÉDURE DE PLANIFICATION DE LA FERMETURE

La fermeture d'une mine est formée d'une série d'activités interreliées qui devraient être amorcées dès les études préalables de faisabilité et se poursuivre durant la construction et l'exploitation, pour se conclure avec l'établissement de la stabilité à long terme du site et d'une affectation des terres convenue (WMI, 1994).

Les grandes visées de la planification de la fermeture (ANZMEC/MCA, 2000) sont de :

- protéger l'environnement, ainsi que la santé et la sécurité publiques, grâce à des pratiques de fermeture sûres et responsables ;
- réduire ou éliminer les effets négatifs sur le milieu une fois que la mine aura cessé ses activités ;
- mettre en place des conditions qui respectent les objectifs prédéterminés concernant l'affectation des terres ;
- limiter la nécessité d'un suivi et d'un entretien à long terme, grâce à une stabilité physique, géochimique et biologique effective des régions affectées.

Un programme en diverses phases est habituellement requis afin de cerner tous les enjeux liés au démantèlement et à la restauration. Un diagramme de processus, développé pour une approche par étapes normale et logique à la restauration des parcs à résidus miniers est présenté à la Fig. 2. Le mécanisme exposé est, dans une

- Robust and stable construction
- The longevity needs to be demonstrated beforehand in a robust scientific way
- The relevant time-scale is hundreds of years or more
- Ecological integration
- Social aspects shall also be addressed

This chapter focuses on new TSFs where closure can be incorporated as an integrated aspect in the original design. It may be technically and economically difficult to achieve these same goals for existing TSFs and in these cases site-specific compromise solutions may be required.

7.3. POST-OPERATIONAL LAND USE

Mine (and therefore TSF) closure requires returning the land to a useful purpose (World Bank/IFC, 2002). Close consultation with all stakeholders is essential in arriving at the final land use. The selected land use will determine the decommissioning and remediation work required and the degree of after care.

7.4. CLOSURE PLANNING PROCEDURE

Mine closure is a series of inter-related activities that should begin at the pre-feasibility stage and continue through construction and operation, ending with the achievement of long term site stability and the establishment of an agreed land use (WMI, 1994).

The broad aims of closure planning (ANZMEC/MCA, 2000) are to:

- protect the environment and public health and safety by using safe and responsible closure practices
- reduce or eliminate adverse environmental effects once the mine ceases operations
- establish conditions which are consistent with the pre-determined end land use objectives
- reduce the need for long term monitoring and maintenance by establishing effective physical, geochemical and biological stability of disturbed areas.

A staged program is normally required to identify all decommission and remediation issues. A flow chart developed for a normal, logical staged approach to remediation of TSF is presented in Fig. 2. The process presented is, to a large extent, a risk based assessment process (refer to Chapter 8). It starts with a

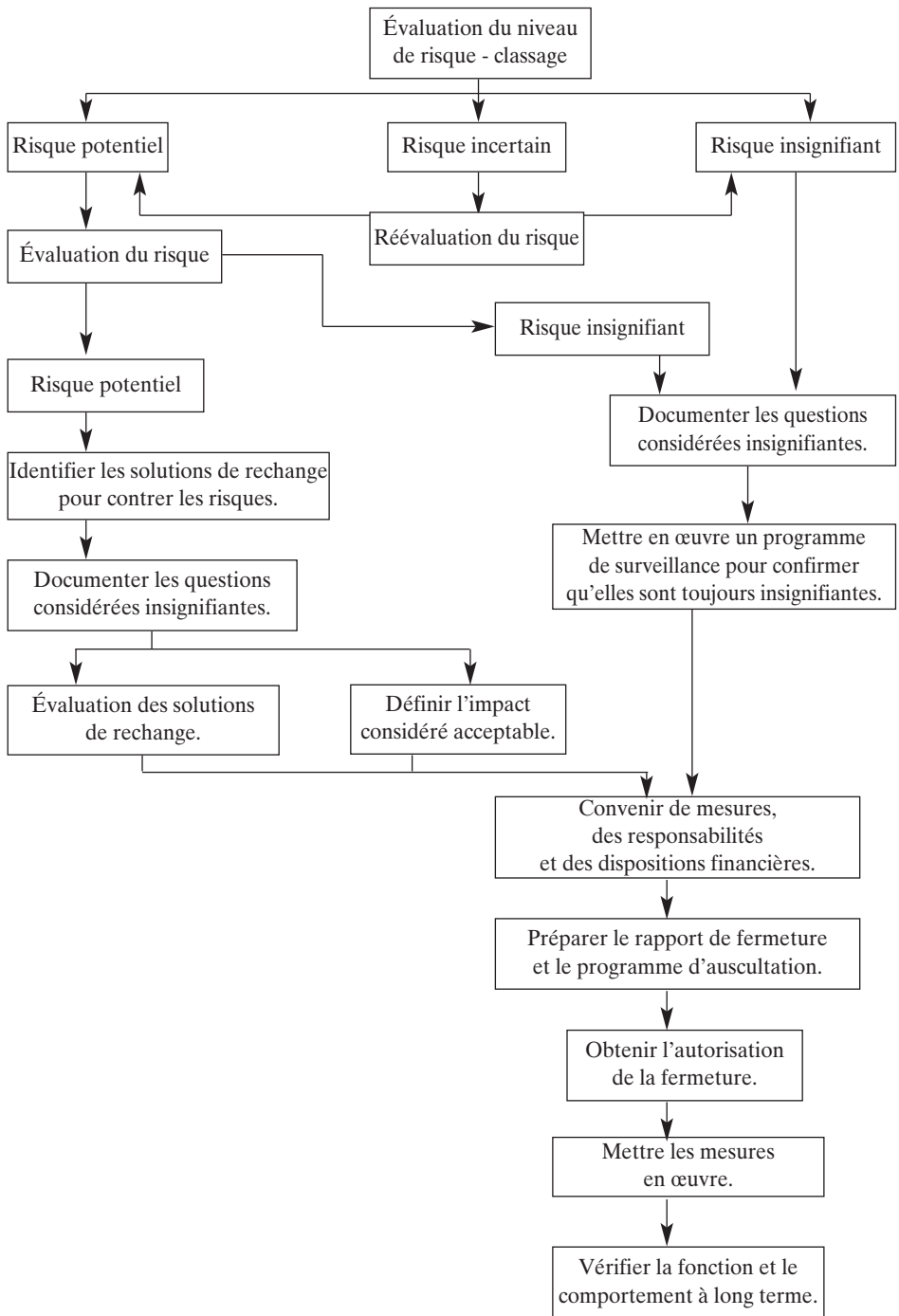


Fig. 2

Diagramme de processus de l'évaluation des risques associés à la fermeture d'un parc à résidus miniers

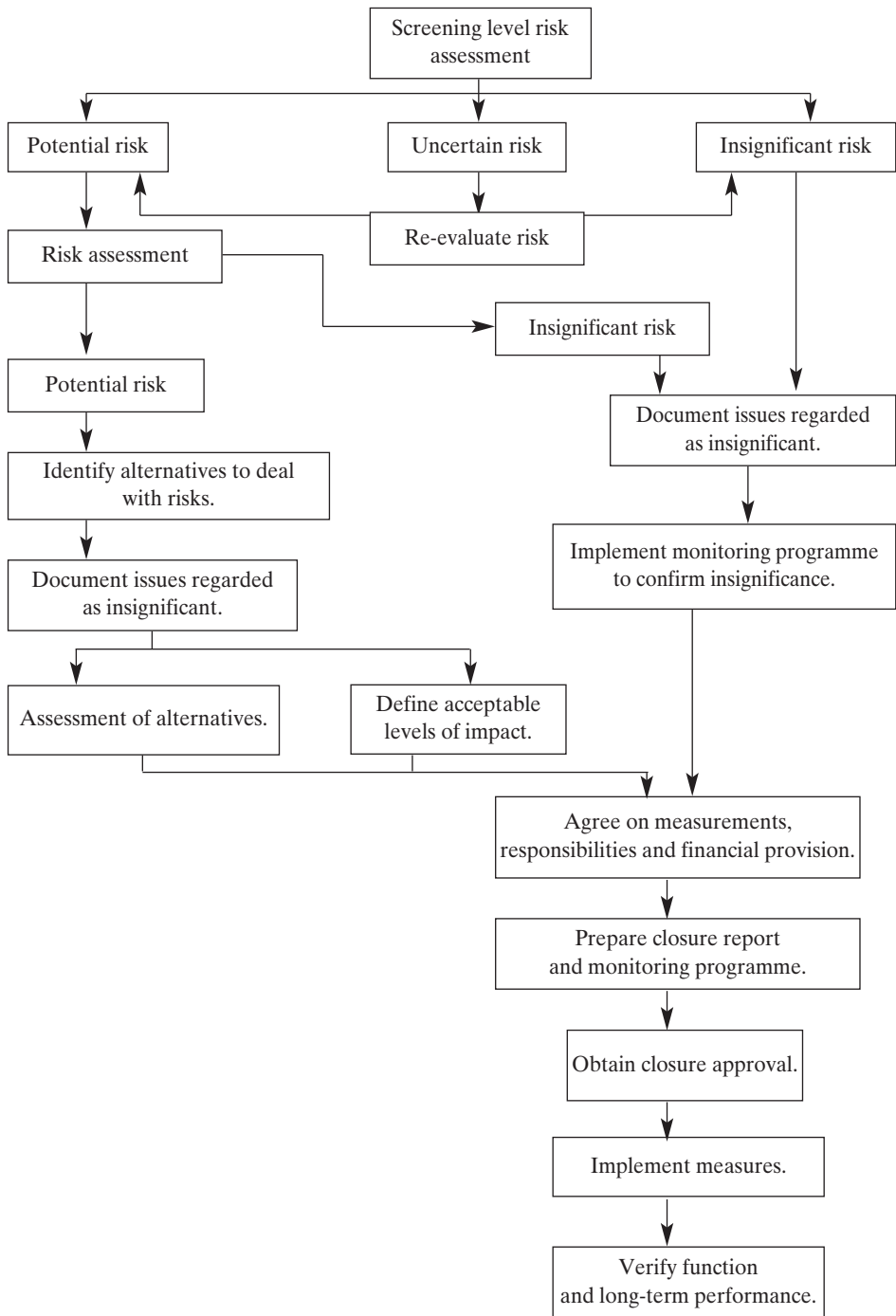


Fig. 2
Flow chart of the TSF closure risk assessment process

grande mesure, une procédure d'évaluation fondée sur le risque (voir le Chapitre 8). Il s'amorce par un examen visant à reconnaître les risques environnementaux, qui devrait être réalisé avec une prudence évidente. Cette phase devrait permettre de cerner :

- les risques potentiels ;
- les risques incertains ;
- les risques insignifiants.

Les risques potentiels identifiés devraient par la suite être soumis à une évaluation des risques formelle, qui pourrait entraîner le reclassement de certains risques. Il est nécessaire de réévaluer tous les risques incertains à la lumière de (nouvelles) données convenables, et de déterminer s'ils sont soit potentiels ou insignifiants. Les risques insignifiants doivent être passés en revue avec les parties concernées et être consignés dans la documentation. Au besoin, ces risques doivent faire l'objet d'un suivi afin de confirmer qu'ils présentent encore les critères leur permettant d'appartenir à cette catégorie.

Dans le cas des risques potentiels, des stratégies de remplacement sont définies afin de prévenir, limiter, gérer, ou traiter les risques à long terme. L'évaluation des risques pour ces solutions de rechange est ensuite réalisée à l'aide d'outils et d'expertise acceptables de prévision à long terme. Parallèlement, le niveau acceptable d'impact est défini en consultation avec les parties concernées.

La restauration d'un parc à résidus miniers est plus efficace si elle est abordée tôt dans le processus de conception, de façon systématique. La restauration exige une compréhension particulière de la nature physique, biologique et chimique des stériles miniers en question, ainsi qu'une bonne connaissance de l'environnement du site. Ce processus suppose la participation de personnes concernées provenant de diverses disciplines. De cette façon, les contraintes et les coûts inhérents à la fermeture d'un parc à résidus miniers peuvent être limités, les possibilités d'affectation des terres après l'exploitation minière peuvent être maximisées et les stratégies innovatrices ont le plus de chances de se voir réaliser (ANZMEC/MCA, 2000).

7.5. CONFINEMENT A LONG TERME DES MATÉRIAUX DES STÉRILES

Le principal objectif d'un parc à résidus miniers est d'empêcher la dispersion de matériaux nocifs ou toxiques dans l'environnement. L'une des plus grandes préoccupations est la possibilité que des fluides de traitement s'échappent par percolation du parc à résidus miniers et causent des dommages aux nappes d'eau souterraines. Parmi ces matières toxiques, on trouve (Bjelkevick, 2005a) :

- de l'arsenic ;
- des éléments générateur d'acide (provoquant un DRA) ;
- des métaux lourds ;
- du cyanure (lorsqu'il est utilisé dans les procédés) ;
- des éléments radioactifs.

Toutes ces matières pourraient s'infiltrer dans les systèmes d'eaux souterraines.

screening review of the environmental risk assessment, which should be carried out with demonstrable conservatism. This stage should identify:

- potential risks
- uncertain risks
- insignificant risks

Identified potential risks should then be subjected to a formal risk assessment, which may lead to reclassification of some risks. All uncertain risks need to be re-evaluated using suitable (new) data and then classified as either potential or insignificant. Insignificant risks are discussed with stakeholders and documented. If necessary, insignificant risks are monitored to confirm risk assessment motivation.

For potential risks, alternative strategies are identified to prevent, minimise, manage or treat the long term risks. Risk assessments for these alternatives are then performed using acceptable long term prediction tools and expertise. At the same time acceptable levels of impact are defined and consulted with stakeholders.

Remediation of a TSF is most effective if approached early in the design process and in a systematic way. Remediation requires a specific understanding of the physical, biological and chemical nature of the specific tailings and an understanding of the site environment. It involves input from concerned people of many disciplines. In this way, future constraints on, and costs of TSF closure can be minimised, post mining land use options can be maximised and innovative strategies have the greatest chance of being realised (ANZMEC/MCA, 2000).

7.5. LONG TERM CONTAINMENT OF TAILINGS MATERIAL

The primary objective of a tailings storage facility is to prevent the release of harmful, or toxic material, into the environment. One major concern is the potential for process fluids to seep from the TSF and have a harmful effect on ground water. Some examples of toxic elements are (Bjelkevick, 2005a):

- arsenic
- acid generating elements (causing ARD)
- heavy metals
- cyanide (when used in the process plant)
- radioactivity

All these have a potential to leach into the groundwater systems.

La pollution chimique associée aux stériles miniers est un vaste sujet, qui a été étudié dans le cadre de l'étude MiMi (2004) et ailleurs. Elle ne sera pas abordée en profondeur ici. Toutefois, quatre approches peuvent être adoptées afin de restreindre les impacts chimiques nocifs à un niveau acceptable lors de la fermeture d'un parc à résidus miniers. Elles sont énumérées ci-dessous (MEND Manual, 2001 et Parker et Robertson, 1999) :

- la suppression ou la réduction de l'afflux d'oxygène dans les stériles, en présence de minéraux sulfurés ;
- la prévention ou la réduction de la quantité d'eau traversant la structure, qui pourrait avoir un effet de transport ou de gonflement ;
- l'élimination de la dispersion de stériles dans l'environnement sous l'effet de l'érosion par le vent et l'eau ;
- le traitement des liquides s'échappant par exfiltration de la structure afin d'en retirer les polluants avant que l'eau ne soit déversée dans le milieu à proximité, par exemple grâce à des barrières actives ou des marécages.

7.6. STABILITÉ PHYSIQUE DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERS

La stabilité physique à long terme des parcs à résidus miniers doit tenir compte :

- de la stabilité de la pente ;
- des phénomènes sismiques et climatiques extrêmes ;
- de la lente détérioration du parc à résidus miniers.

7.6.1. Stabilité de la pente

Les critères permettant de garantir la stabilité de la pente et des fondations durant l'exploitation sont bien connus et s'expriment normalement sous forme de coefficient de sécurité. Il n'existe, en revanche, aucun critère particulier pour la stabilité à long terme. Pourtant, la phase à long terme est différente de la phase d'exploitation, particulièrement en ce qui concerne les phénomènes extrêmes. Les événements considérés extrêmes en cours d'exploitation (suivant une récurrence de moins de 40 ans, en général) peuvent être normaux dans une perspective à long terme (1 000 ans ou plus). Diverses conditions de charge doivent donc être analysées, et le coefficient de sécurité peut devoir être augmenté en conséquence. Bjelkevik (2005a) discute de la stabilité à long terme de la pente et des principes majeurs fondamentaux à cet égard dont il faudra tenir compte dans l'élaboration de recommandations à venir.

7.6.2. Phénomènes extrêmes

Dans toute perspective à long terme, les événements extrêmes comme les inondations, sécheresses, séismes, glissements de terrain et éboulements, de même que les vents violents se produiront. Les modifications observées durant de longues périodes historiques, ainsi que les changements climatiques continus, indiquent qu'il est délicat de prévoir les phénomènes extrêmes à long terme. Toutefois, il convient de noter que les événements extrêmes futurs seront supérieurs à ceux qu'on connaît actuellement (Vick, 2001).

Chemical pollution associated with tailings is an extensive subject, that has been investigated by MiMi (2004) and others, and which will not be discussed in detail here. However, four approaches can be taken to reduce the adverse chemical impacts to an acceptable level at the closure of a TSF. These are to (MEND Manual, 2001 and Parker and Robertson, 1999):

- eliminate or reduce the oxygen flux through the tailings when sulphide minerals are present,
- prevent or reduce the amount of water passing through the structure as it could act as a transport or leaching medium,
- eliminate the transport of tailings into the environment by wind and water erosion
- treat liquid seeping out of the structure to remove pollutants before the water is released into the surrounding environment, for example by active barriers or wetlands.

7.6. PHYSICAL STABILITY OF TAILINGS DAMS

The long term physical stability of TSFs needs to address:

- slope stability
- extreme seismic and climatic events
- slow deterioration of the TSF.

7.6.1. Slope Stability

Criteria for foundation and slope stability during operations are well known and are normally expressed as a Factor of Safety (FS). There are, however, no specific criteria for the long term stability. However, the long term phase can differ from the operational phase, especially with regard to extreme events. Events classified as extreme during operations (typically less than 40 year period) could be normal from a long term perspective (1,000 years or more). A range of loading conditions should therefore be analysed and the FS requirement may have to be increased accordingly. Bjelkevik (2005a) discusses long term slope stability and the major principles important in this aspect which need to be considered in the development of future guidelines.

7.6.2. Extreme Events

Extreme events such as floods, droughts, earthquakes, land- and rockslides and high winds will occur in any long term perspective. Changes observed over historical times, and ongoing climate changes, indicate that it is difficult to predict long term extreme events. However, it should be noted that future extreme events will exceed those presently known (Vick, 2001).

D'autres événements extrêmes, comme le sabotage, le terrorisme, et les activités d'exploitation minière artisanale pourraient survenir et sont difficiles à prédire. De tels scénarios devraient, toutefois, être évalués et considérés lors de la conception de la fermeture.

7.6.3. Processus de lente détérioration

Tous les barrages de stériles miniers souffrent dans une certaine mesure de lente détérioration ou de processus progressifs qui menacent leur stabilité dans le temps. Parmi ces processus, on trouve :

- l'altération des matériaux ;
- l'érosion par l'eau et le vent ;
- les forces associées au gel et à la glace ;
- l'intrusion de végétaux et animaux.

L'altération des matériaux du remblai représente ici une altération mécanique, chimique ou biologique des particules de matériaux dans leur emplacement original ; les trois autres processus comprennent un mouvement de particules de matériaux d'un endroit à l'autre. Dans d'autres contextes, on pourrait les qualifier tous d'altérations.

Les phénomènes mentionnés précédemment peuvent, normalement, faire l'objet d'un contrôle durant la phase d'exploitation. Cependant, durant la phase à long terme, ils doivent être intégrés aux concepts de réhabilitation, étant donné que leurs effets (associés) sur une période prolongée peuvent provoquer une rupture générale du barrage de stériles.

Les ouvrages de Bjelkevik (2005a), Robertson et Skermer (1988), Vick (2001), la CIGB (1996) et d'autres encore décrivent ces mécanismes.

7.7. MÉTHODES DE RESTAURATION DES BARRAGES DE STÉRILES MINIERES

Lors de la sélection d'une méthode de restauration, les aspects particuliers tels que le climat, la topographie et l'affectation des terres exigée doivent être considérés. D'autres facteurs comme la chimie des stériles et des agents réactifs mis en dépôt dans le bassin d'accumulation des résidus influenceront également le type de restauration.

Les types de restauration sont répartis en deux catégories : les barrières sèches et les couvertures aqueuses (voir Tableau 2). Les types de recouvrements génériques entrant dans ces catégories sont au nombre de cinq, chacun possédant ses propres avantages et inconvénients. Les ouvrages de Wels et O'Kane (2002), Wels et collaborateurs (2001) et MMSD (2002) permettent d'en savoir plus à ce sujet. L'ouvrage de Bjelkevik (2005a) aborde la question des couvertures aqueuses et offre des exemples de sites pour lesquels ce type de restauration a été utilisé. Une comparaison avec des sites naturels analogues en Suède est également présentée.

Other extreme events, such as sabotage, terrorism and the activities of artisanal miners, could occur and all are difficult to predict. Such possible scenarios should, however, be evaluated and considered in a closure design.

7.6.3. Slow Deterioration Processes

All tailings dams are affected to some degree by slow deterioration or progressive processes that degrade dam stability over time. Processes discussed are:

- weathering of materials
- water and wind erosion
- frost and ice forces
- Intrusion by vegetation and animals.

Weathering of fill materials is here defined as mechanical, chemical or biological weathering of material particles in their original place/location, whereas the latter three processes include a movement of the material particles from one place to another. In other contexts they all might be seen as just weathering.

The processes above can normally, during the operating phase, be controlled. However, during the long-term phase they must be incorporated in the redemption design as their (combined) effect over time can lead to overall failure of the tailings dam.

Bjelkevik (2005a), Robertson and Skermer (1988), Vick (2001), ICOLD (1996) and others describe these mechanisms.

7.7. METHODS FOR TAILINGS DAM REMEDIATION

In choosing a remediation method, site-specific aspects such as climate, topography and the required end land use etc has to be considered. Other factors such as the chemistry of the tailings and reagents deposited in the tailings impoundment will also influence the type of remediation.

Remediation types are of two categories: the dry and the wet covers (see Table 2). There are five generic types of cover within these categories, each of which has its own advantages and disadvantages, see Wels and O'Kane (2002), Wels et al. (2001) and MMSD (2002). In Bjelkevik (2005a) wet covers are discussed as well as examples given of sites remediated by water cover. A comparison to natural analogies in Sweden is also made.

Tableau 2
Types de recouvrement génériques

Barrière sèche	Couverture aqueuse
Barrière à faible conductivité hydraulique Barrière capillaire Couverture de rétention d'eau et évapotranspiration	Recouvrement en eau Marécages

7.8. CRITÈRES ESTHÉTIQUES

Il est difficile de définir l'acceptabilité d'un point de vue esthétique, puisque diverses parties et divers individus en ont leur propre définition. L'opinion générale veut, toutefois, que le barrage de stériles miniers s'intègre au paysage environnant.

7.8.1. Modelé

Le modelé d'un parc à résidus miniers après la fermeture est généralement mieux accepté lorsqu'il s'intègre d'un point de vue esthétique au contexte régional. Bien que cet objectif soit principalement justifié par la stabilité du modelé, il peut être également considéré comme une amélioration à la valeur du paysage.

La plupart des pentes naturelles où n'affleurent pas de rochers présentent des formes peu profondes concaves/convexes (en forme de S) ainsi que des courbes, plutôt que des surfaces planes. Les surfaces planes construites par l'homme, peu naturelles, de même que les lignes droites, peuvent sembler stables à court terme, mais elles sont essentiellement instables à long terme. Par conséquent, les surfaces de barrages de stériles miniers présentant des pentes douces, des superficies arrondies sont préférables aux pentes très inclinées et planes. De la même façon, des canalisations sinueuses sont à privilégier comparativement aux drains droits.

7.8.2. Végétation

La végétation a pour objectif de consentir aux terres affectées à recommencer à faire partie d'un environnement productif de manière écologique, en interaction avec le milieu environnant. La stratégie consiste à introduire une couverture végétale stable à long terme, résistante à la sécheresse, aux incendies, aux pacages et aux inondations, et de choisir des espèces végétales compatibles avec le milieu. Des espèces permettant d'empêcher les effets nuisibles de l'activité humaine (plantes épineuses et arides avec des rochers) peuvent être utilisées au besoin.

La végétation du parc à résidus miniers devrait être amorcée dès que possible. Dans le cas des barrages construits selon la méthode amont, les pentes externes peuvent faire l'objet d'une restauration et d'une végétation progressive au fil de la construction. Il n'est pas possible de procéder à la végétation des barrages construits selon la méthode de l'axe central et la méthode aval avant que l'ouvrage n'ait atteint la hauteur définitive, puisque l'élévation est édifiée à partir de la pente aval existante du barrage.

Table 2
Generic Cover Types

Dry Covers	Wet Covers
Low hydraulic conductivity cover Capillary barrier cover Store and utilise cover	Water cover Wetlands

7.8. AESTHETICS

Aesthetic acceptability is difficult to define, as different parties and individuals have their own definition. However, the general view is that the tailings dam to become part of the surrounding landscape.

7.8.1. Landform

TSF closure landforms are generally more accepted when they are aesthetically consistent with the regional context. While this objective is predominantly driven by landform stability, it can also be viewed as potentially improving landscape values.

Most natural slopes that are not rock outcrops have relatively shallow, concavo-convex (“S” shaped) down slope cross sections and curved, not flat surfaces. The unnatural, man-made flat surfaces and straight lines may appear to be stable in the short term, but are inherently unstable in the long term. Thus gently sloping, rounded tailings dam faces are preferable to steeper, planar slopes and stream diversions with suitably sinuous channels are preferred to straight drains.

7.8.2. Revegetation

The purpose of revegetation is to return disturbed land to a productive environment in an ecologically sustainable manner in relation to the surrounding landscape. The strategy is to use long term stable vegetation covers that are tolerant to drought, fire, grazing and flooding and to choose vegetation compatible with the surrounding environment. Plant species to discourage deleterious effects of human use (spiny and brushy plant along with rocks) can be used if appropriate.

Where it is practical, establishing vegetation on the TSF should be undertaken as soon as possible. When using the upstream construction method for tailings dams the outer slopes can be remediated and have vegetation established progressively as the dam is raised. The centreline and downstream construction cannot be vegetated until the dam has reached its final height as the raises are constructed on the existing downstream slope of the dam.

7.9. RÉFÉRENCES

- AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL (ANZMEC) and MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (MCA) (2000). *Strategic Framework for Mine Closure*. National Library of Australia Catalogue Data.
- BJELKEVIK A. (2005a). *Water Cover Closure Design for Tailings Dams – State of the Art report*. Division of Geotechnology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.
- MANUEL NEMED (2001). Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier. Il s'agit d'un projet de partenariat entre l'industrie minière canadienne et le gouvernement du Canada, ainsi que divers gouvernements provinciaux. Le manuel NEMED, en 6 volumes, résume les travaux réalisés par le NEMED. Il renferme une série de références détaillées sur l'échantillonnage et les analyses ainsi que sur la prévision, la prévention, le contrôle, le traitement et la surveillance du drainage acide.
- MIMI (2004). R. *Mitigation of the Environmental Impact from Mining Waste*. MiMi-Performance Assessment Main report. MiMi 2003:3. Editors: Höglund L.O. and Herbert.
- CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Barrages de stériles et environnement - Synthèse et recommandations*. Bulletin 103.
- MMSD (2002). INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT IN THE PROJECT MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Mining for the Future, Appendix A: Large Volume Waste Working Paper* (September 2004).
- PARKER ET ROBERTSON (1999). Acid Drainage, Occasion Paper No.11. Published by Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Australia.
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Swedish Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*, Second edition of main document. Published by Swedenergy AB (en suédois).
- ROBERTSON A. MACG ET SKERMER N. A. (1988). Design Considerations for the Long-term Stability of Mine Wastes.
- VICK S. G. (2001). Stability aspects of long-term closure for sulfide tailings. Seminar on Safe Tailings Dam Constructions in Gällivare, Sweden, 20-21 September 2001, organized by Swedish Mining Association, Swedish Environmental Protection Agency and European commission.
(A également été publié dans Mining Environmental Management Journal, January 2002. Mining Communications Ltd. Printed by: Stephens & George, Merhtyr Tydfil, United Kingdom).
- WELS, C. ET O'KANE, M. (2002). *Mine Waste Cover System Design – Linking Predicted Performance to Groundwater and Surface Water Impacts* (February 2005).

7.9. REFERENCES

- AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL (ANZMEC) and MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (MCA) (2000). *Strategic Framework for Mine Closure*. National Library of Australia Catalogue Data.
- BJELKEVIK A. (2005a). *Water Cover Closure Design for Tailings Dams –State of the Art report*. Division of Geotechnology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.
- MEND MANUAL (2001). Mine Environmental Neutral Drainage Program. A partnership between the Canadian mining industry and the Government of Canada and several Provincial Governments. The MEND manual, in 6 volumes, summarizes the work completed by MEND. It is a set of comprehensive working references for the sampling and analyses, prediction, prevention, control, treatment and monitoring of acidic drainage.
- MIMI (2004). R. *Mitigation of the Environmental Impact from Mining Waste*. MiMi-Performance Assessment Main report. MiMi 2003:3. Editors: Höglund L.O. and Herbert.
- ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings dams and Environment – Review and Recommendations* Bulletin 103.
- MMSD (2002). INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT IN THE PROJECT MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Mining for the Future, Appendix A: Large Volume Waste Working Paper* (September 2004).
- PARKER ET ROBERTSON (1999). *Acid Drainage*, Occasion Paper No.11. Published by Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Australia.
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Swedish Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*, Second edition of main document. Published by Swedenergy AB (in Swedish).
- ROBERTSON A. MACG ET SKERMER N. A. (1988). *Design Considerations for the Long-term Stability of Mine Wastes*.
- VICK S. G. (2001). Stability aspects of long-term closure for sulfide tailings. Seminar on Safe Tailings Dam Constructions in Gällivare, Sweden, 20-21 September 2001, organized by Swedish Mining Association, Swedish Environmental Protection Agency and European commission.
(Was published in Mining Environmental Management Journal, in January 2002 as well. Mining Communications Ltd. Printed by: Stephens & George, Merhtyr Tydfil, United Kingdom).
- WELS, C. ET O’KANE, M. (2002). *Mine Waste Cover System Design – Linking Predicted Performance to Groundwater and Surface Water Impacts* (February 2005).

WELS, C., O'KANE, M. ET FORTIN, S. (2001). *Assessment of Water Storage Cover for Questa Tailings Facility, New Mexico* (July 2004).

WMI (1994). Whitehouse Mining Initiative. Final Report: Environment Issues Group.

WORLD BANK/IFC (2002). Banque mondiale/Société Financière Internationale. *It's Not Over When It's Over: Mine Closure Around the World* (July 2004).

7.10. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Les ouvrages pertinents sont répartis ci-dessous entre les catégories « Recommandations directrices » et « Autres documents ». Les recommandations comprennent des documents comme des directives, des codes de bonnes pratiques, des pratiques internationales, etc.

Recommandations

AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE (AGDEH) (2002). *Mine Decommissioning*. Commonwealth of Australia, July 2002.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY OF WESTERN AUSTRALIA (1999). *Mine Closure Guideline for Minerals Operations in Western Australia*.

ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998). *Cyanide Management*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.

ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT. AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE (AGDEH) (1999). *Best Practice Environmental Management in Mining*. Environment Australia.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1997). *Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec*.

CIGB (1989). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Sécurité des barrages de stériles - Recommandations*. Bulletin 74.

CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106.

INTERNATIONAL CYANIDE MANAGEMENT INSTITUTE (ICMI) (2002). *The International Cyanide Management Code for the Manufacture, Transport and Use of Cyanide in the Production of Gold*.

JEWELL, R. J., FOURIE, A. B. ET LORD, E. R. (2002). *Paste and Thickened Tailings, A Guide*. Australian Centre for Geomechanics. Uniprint at University of western Australia, Perth, Australia.

- WELS, C., O'KANE, M. ET FORTIN, S. (2001). *Assessment of Water Storage Cover for Questa Tailings Facility, New Mexico* (July 2004).
- WMI (1994). Whitehouse Mining Initiative. Final Report: Environment Issues Group.
- WORLD BANK/IFC (2002). World Bank/International Finance Corporation. *It's Not Over When It's Over: Mine Closure Around the World* (July 2004).

7.10. FURTHER READING

Relevant literature is here divided into “Guidelines” and “Other Documents”. Guidelines include documents like guidelines, code of practice, international practice etc.

Guidelines

- AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE (AGDEH) (2002). *Mine Decommissioning*. Commonwealth of Australia, July 2002.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY OF WESTERN AUSTRALIA (1999). *Mine Closure Guideline for Minerals Operations in Western Australia*.
- ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998). *Cyanide Management*. One booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining. Department of the Environment. Commonwealth of Australia.
- ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT. AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE (AGDEH) (1999). *Best Practice Environmental Management in Mining*. Environment Australia.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1997). *Guidelines for Preparing a Mining Site Rehabilitation Plan and General Mining Site Rehabilitation Requirements*.
- ICOLD (1989). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings Dam Safety – Guidelines*. Bulletin 74.
- ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin 106.
- INTERNATIONAL CYANIDE MANAGEMENT INSTITUTE (ICMI) (2002). *The International Cyanide Management Code for the Manufacture, Transport and Use of Cyanide in the Production of Gold*.
- JEWELL, R. J., FOURIE, A. B. ET LORD, E. R. (2002). *Paste and Thickened Tailings, A Guide*. Australian Centre for Geomechanics. Uniprint at University of western Australia, Perth, Australia.

LOGSDON M. J., HAGELSTEIN K. ET MUDDER T. I. *The Management of Cyanide in Gold Extraction*. International Council on Metals and the Environment (ICME) (1999) connu aujourd'hui comme le Conseil international des mines et métaux (ICMM en anglais), Ottawa, Ontario, Canada.

NORTHERN TERRITORY DEPARTMENT OF MINES AND ENERGY (1997). *Mine Close Out Criteria: Life of Mine Planning Objectives*.

ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA (AMC) (1998). *Un guide de gestion des parcs à résidus miniers*. Ottawa, Ontario, Canada K1R 7S8.

QUEENSLAND MINING COUNCIL (2001). *Guidelines for Mine Closure Planning in Queensland*.

Autres documents

BJELKEVIK, A. 2005B. *Stability of Tailings Dams – Focus on Water Cover Closure*. Licentiate thesis 2005:85, Division of Geotechnology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.

LOGSDON M. J., HAGELSTEIN K. AND MUDDER T. I. *The Management of Cyanide in Gold Extraction*. International Council on Metals and the Environment (ICME) (1999) now International Council on Mining and Metals (ICMM), Ottawa, Ontario, Canada.

NORTHERN TERRITORY DEPARTMENT OF MINES AND ENERGY (1997). *Mine Close Out Criteria: Life of Mine Planning Objectives*.

THE MINING ASSOCIATION OF CANADA (MAC) (1998). *A Guide to the Management of Tailings Facilities*. Ottawa, Ontario, Canada.

QUEENSLAND MINING COUNCIL (2001). *Guidelines for Mine Closure Planning in Queensland*.

Other Documents

BJELKEVIK, A. 2005B. *Stability of Tailings Dams – Focus on Water Cover Closure*. Licentiate thesis 2005:85, Division of Geotechnology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.

8. GESTION DES RISQUES

8.1. COTES DE DANGER

Les méthodes pour déterminer les cotes de danger (ou des conséquences) des installations de stockage varient d'un pays à l'autre. Elles représentent toutefois un outil essentiel pour mieux connaître les conséquences en cas de rupture d'un barrage de stériles miniers. Le danger est défini comme les conséquences possibles découlant d'une rupture du barrage, qu'il s'agisse d'une rupture structurelle ou d'un déversement incontrôlé dans l'environnement des matériaux retenus. Il ne tient pas compte de la probabilité qu'une rupture ou qu'un incident se produise. Les dommages provoqués par la rupture d'un barrage de stériles miniers sont généralement évalués en rapport aux effets potentiels sur les quatre catégories suivantes :

- les pertes de vie ;
- les dommages environnementaux ;
- les coûts associés aux dommages physiques, y compris aux installations de stockage mêmes ;
- les impacts sociaux, notamment sur la perception des communautés locales, du gouvernement et des actionnaires.

La détermination de la cote de danger représente donc un premier pas essentiel dans le processus global de conception. En effet, cette cote influencera l'approche à adopter. Une fois évalués les effets relatifs sur les quatre catégories énumérées ci-dessus, on accorde une cote pour chacune des catégories. Généralement, on classe le danger comme étant **EXTRÊME**, **ÉLEVÉ**, **MODÉRÉ**, **FAIBLE** ou **INSIGNIFIANT**.

Règle générale, les pires conséquences dans l'une ou l'autre des quatre catégories d'évaluation détermineront la cote, peu importe les cotes faibles obtenues dans les autres catégories.

Les cotes de danger **EXTRÊME** ou **ÉLEVÉ** devraient entraîner une réévaluation de l'emplacement choisi du barrage ou du caractère adéquat général des installations.

La cote de danger influence :

- les paramètres de conception tels que le niveau acceptable des exfiltrations ou le facteur de sécurité approprié pour la stabilité ;
- l'attention à la fiabilité des études du site et des stériles ;
- la fiabilité des données utilisées dans la conception ;
- l'expérience et la compétence des personnes réalisant les études ;
- la conception et l'exploitation du barrage ;
- l'étendue de la supervision ;
- l'ampleur du système d'instrumentation ; et
- la fréquence et l'étendue des inspections, des études de sécurité et des vérifications externes en cours d'exploitation.

8. RISK MANAGEMENT

8.1. HAZARD RATING

The method of assessing the Hazard (or Consequence) rating of a storage varies from country to country, but is nevertheless an essential tool in developing an understanding of the consequences of a tailings dam failure. Hazard is defined as the potential consequence that would arise from a dam failure, whether that is structural failure or uncontrolled release of contained materials to the environment. It does not consider the probability of a failure or incident occurring. The consequential damage from a tailings dam failure is generally assessed in terms of its potential effect on the four categories of:

- Loss of life
- Environmental damage
- Cost of physical damage including the storage facility itself

- Social impact including the local community, government and shareholder perception.

The assessment of hazard rating is thus an essential first step in the overall design process, since the rating will influence the design approach. After assessing the relative impact in the four categories above, the dam will be assigned a rating typically in EXTREME, HIGH, MODERATE, LOW or NEGLIGIBLE for each category.

Generally, the worst consequence in any of the four categories of assessment will define the rating, regardless of low ratings in other categories.

EXTREME or HIGH hazard ratings should require a re-assessment of the chosen dam location or overall suitability of the facility.

The hazard rating influences:

- design factors such as acceptable levels of seepage or levels of factors of safety for stability,
- considerations of the reliability of the site and tailings material investigations,
- the reliability of data being used in the design,
- the experience and competence of the individuals undertaking the investigation,
- design and operation of the dam,
- the degree of supervision,
- the extent of instrumentation, and
- the frequency and level of inspections, safety reviews and external audits, during operation.

8.2. TECHNIQUES D'ANALYSE DES RISQUES

Le risque se définit comme les chances qu'une chose se réalise, et il est le produit de la vraisemblance/probabilité, multipliée par les conséquences.

L'analyse des risques peut être de forme qualitative ou quantitative. L'expression « évaluation quantitative du risque » (ÉQR) se rapporte à la technique permettant d'évaluer la fréquence d'un événement indésirable et ses conséquences mesurables selon des critères tels que le nombre de victimes ou le coût des dommages (Dise & Vick, 2000). La référence CIGB (2005) présente des détails sur l'ÉQR.

On peut se demander si les évaluations quantitatives du risque, telles qu'utilisées dans les industries de transformation, employant des arborescences de la séquence des défaillances et de la séquence des événements représentent un outil adéquat pour juger de la sécurité des barrages de stériles miniers. Les évaluations qualitatives du risque sont généralement fondées sur les techniques des analyses des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), qui ont été mises au point à la suite des désastres de Bhopal et de Challenger. Les auteurs McLeod et Plewes (1999) ont perfectionné la méthodologie afin de quantifier les conséquences environnementales et socio-économiques de la rupture d'un parc à résidus miniers.

8.3. ANALYSE DE GESTION DES RISQUES

L'analyse de la gestion des risques (en anglais RMA) peut être réalisée à tout stade de la durée de vie d'un barrage de stériles miniers et permet de cerner, d'atténuer et de gérer les risques qui y sont associés. Il s'agit d'un outil puissant pour superviser et signaler les risques de manière uniforme. Le processus d'analyse de la gestion des risques commence par une identification des modes de défaillance ou des problèmes potentiels et se poursuit par une quantification des conséquences. Des plans d'évaluation des risques, de gestion du risque, ainsi que des plans d'urgence en cas de rupture sont par la suite mis au point. Les principales étapes de ce processus sont représentées dans la Fig. 3. Les quatre étapes qui permettent l'évaluation du risque sont les suivantes :

Évaluation des dangers : Cela pourrait nécessiter une réévaluation du choix du site de stockage des stériles.

Fondements de la conception : Exposé détaillé du projet dans ses principaux éléments et sous-éléments, avec une définition claire des critères de conception et des éléments de la conception.

Participation des parties concernées : Bonne part de la réussite de l'analyse de la gestion du risque repose sur la participation des principales parties concernées dans le processus. Cela offre l'avantage de favoriser l'adhésion au processus d'évaluation des risques et garantit que les préoccupations potentielles de toutes les parties concernées sont tenues en compte.

8.2. RISK ANALYSIS TECHNIQUES

Risk is defined as the chance of something happening, and is the product of likelihood/probability, times the consequence.

Risk analysis can be qualitative or quantitative. The term quantitative risk assessment (QRA) refers to the technique of assessing the frequency of an unwanted event and its measurable consequences in terms such as number of fatalities or cost of damage (Dise & Vick, 2000). ICOLD (2005) provides details on QRA.

It is questionable that QRA, as used in the process industries, involving large numbers of fault trees and event trees is appropriate for the assessment of the safety of tailings dams. Qualitative Risk Assessment techniques are commonly based on the Failure Modes Effects Analysis (FMEA), which was developed as a result of the Bhopal and Challenger disasters. McLeod and Plewes (1999) further developed the methodology to quantify the environmental and socio-economic consequences of failure for tailing facilities.

8.3. RISK MANAGEMENT ANALYSIS

Risk management analysis (RMA) can be carried out at all stages of the tailings dam life cycle to identify, mitigate and manage risks associated with tailing dams and provide a powerful tool for consistent monitoring and reporting of the risks. The RMA process starts with identification of potential failure modes or problems and moves on to quantifying the consequences. Risk assessment, risk management, and risk contingency plans are then developed. The key steps of the RMA process are shown in Fig. 3. The four steps that lead to the risk evaluation are as follows:

Hazard Assessment: This may require a re-evaluation of the siting of the tailings storage.

Design Basis: Breakdown of the project into the main components and subcomponents, with clear definition of design criteria and design components.

Stakeholder Input: Part of the success of the RMA is the incorporation of key stakeholders into the process. This has the advantage of developing “buy in” for the risk assessment process and ensures that potential concerns of all stakeholders are considered.

Atelier RMA : L'atelier « RMA » se base sur les analyses des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). Le cadre comprend l'identification des modes de défaillance, de la possibilité qu'un événement se produise, des conséquences de cet événement (sur la qualité de l'eau, sur l'environnement biophysique, de nature socio-économique, etc.), du niveau de confiance et du stade du projet.

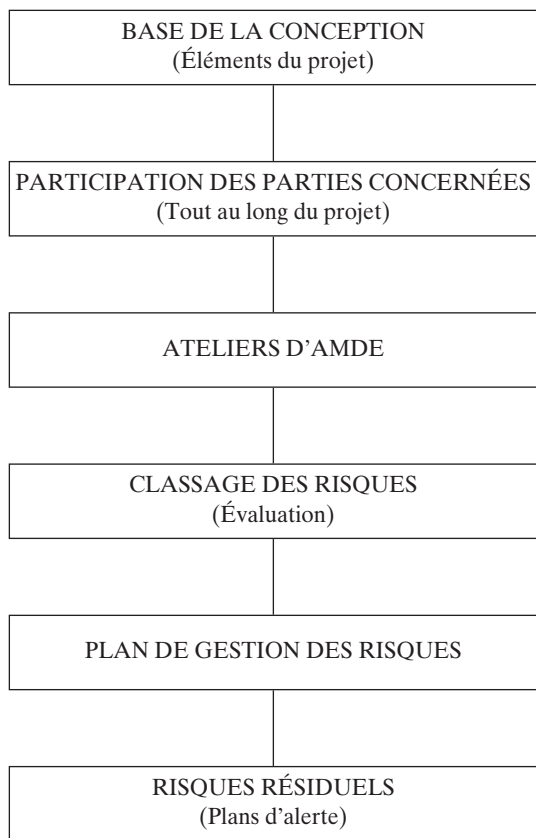


Fig. 3
Processus d'évaluation de la gestion des risques

8.4. ÉVALUATION DES RISQUES

La vraisemblance ou probabilité d'une défaillance et ses conséquences pour chaque condition ou événement possible d'un parc à résidus miniers doivent être évaluées de façon séparée et mises en rapport dans une grille d'examen des risques afin de déterminer le niveau de risque pour chaque événement. Un modèle type d'une telle grille est illustré à la Fig. 4. Pour chacun des modes de défaillance identifiés, le danger (conséquences) et le risque sont mis en relation.

RMA Workshop: The RMA workshop is based on the failure modes effects analysis (FMEA). The framework includes identification of failure modes, likelihood of the event, consequences of the event (water quality, biophysical, socio-economic, etc.), level of confidence and project stage.



Fig. 3
Risk Management Assessment Process

8.4. RISK EVALUATION

The likelihood or probability of failure and the consequence of failure for each possible condition or event on a TSF are separately evaluated and plotted on a risk review chart to identify the level of risk for that event. A typical risk review chart is presented in Fig. 4. For each failure mode identified, the combination of hazard (consequence) and risk are plotted.

		PROBABILITÉ				
		Insignifiant	Très faible	Faible	Modéré	Élevé
CONSÉQUENCES	Extrême			F/E	M/E	É/E
				NIVEAU 3	NIVEAU 2	NIVEAU 1
	Élevé			F/É	M/É	É/É
				NIVEAU 4	NIVEAU 3	NIVEAU 2
	Modéré	I/M		F/M	M/M	É/M
					NIVEAU 4	NIVEAU 3
	Faible	I/F	TF/F	F/F	M/F	É/F
						NIVEAU 4
	Insignifiant	I/I	TF/I	F/I	M/I	É/I

Fig. 4
Grille d'examen des risques

8.5. PLAN DE GESTION DES RISQUES

Le plan de gestion des risques vise à mettre au point et à mettre en œuvre des facteurs de compensation afin de réduire les niveaux de risque. Ce plan devrait tenir compte, au moins, de tous les risques entrant dans les zones ombrées de la Fig. 4. Les raisons justifiant ces combinaisons de danger et de probabilité devraient être cernées et la gestion nécessaire ou les changements requis à la conception pour modifier le risque devraient être définis. Selon toute probabilité, il peut être important de réaliser un autre atelier RMA et une autre évaluation des risques.

Une fois réduits les risques plus élevés des niveaux 1 à 4, le niveau de risque suivant devrait être évalué afin de déterminer s'il existe des moyens pratiques d'atténuer également ces risques.

		PROBABILITE					
CONSEQUENCE	Extreme	Negligible	Very Low	Low	Moderate	High	
					L/E	M/E	H/E
					LEVEL 3	LEVEL 2	LEVEL 1
	High			L/H	M/H	H/H	
				LEVEL 4	LEVEL 3	LEVEL 2	
	Moderate	N/M		L/M	M/M	H/M	
					LEVEL 4	LEVEL 3	
	Low	N/L	VL/L	L/L	M/L	H/L	
						LEVEL 4	
	Negligible	N/N	VL/N	L/N	M/N	H/N	

Fig. 4
Risk Review Chart

8.5. RISK MANAGEMENT PLAN

The objective of the risk management plan is to develop and apply compensation factors to reduce the levels of risk. The plan would address, as a minimum, all risks that fall within the shaded areas shown in Fig. 4. The reasons leading to these combinations of hazard and probability would be identified and the necessary management or design changes to alter the risk would be identified. Following the chances, it may be necessary for a further RMA workshop and Risk Evaluation.

Once the higher risks at Levels 1 to 4 have been reduced, the next lower rank of risk would be evaluated to see if there are practical ways of also reducing these risks.

8.6. RISQUES RÉSIDUELS (PLAN D'ALERTE)

Les risques qui demeurent après avoir mis en œuvre des facteurs de compensation et les plans de gestion du risque sont classés comme des risques résiduels et représentent les risques anticipés associés au projet. Des plans de suivi, plans d'alerte, et plans en cas d'urgence sont exigés à l'égard des risques résiduels.

La communauté minière a fait des progrès impressionnants au cours des 20 dernières années pour répondre aux critères nécessaires pour faire en sorte que les barrages de stériles miniers soient acceptables socialement. Les concepteurs, la communauté, et les promoteurs du secteur disposent désormais des outils pour concevoir des installations de gestion des stériles de manière à réduire les risques et de maximiser les avantages pour la société. Les méthodologies d'évaluation existent pour quantifier les risques, ce qui représente un instrument précieux dans les relations avec les parties concernées.

Toutefois, toutes les installations comportent un certain degré de danger, et ce, même après que des plans de gestion des risques ont été mis en œuvre. Il est donc important d'élaborer un plan d'alerte tenant compte des risques qui ne peuvent être supprimés. Le plan d'alerte doit définir les actions nécessaires pour atténuer les conséquences si un événement devait survenir. Il devrait établir les responsabilités, les modalités de signalement, les mesures d'urgence, la supervision technique, les mesures techniques à prendre, ainsi que d'autres éléments.

Comme pour toute structure pouvant, en théorie, faire l'objet d'une rupture, les barrages de stériles miniers doivent être accompagnés d'un plan d'alerte déterminant comment faire face à un accident possible. Étant donné que les accidents mettant en jeu des stériles peuvent avoir des conséquences physiques et/ou chimiques pour les personnes et l'environnement, ces deux aspects doivent être considérés. En plus du matériel de soutien, il est nécessaire que les plans de communication et de coordination soient en place afin de gérer les mesures à prendre. Les plans d'intervention en cas d'urgence exigent nécessairement que les communautés pouvant être affectées comprennent ce qu'elles doivent faire en cas d'accident.

8.7. RÉFÉRENCES

- DISE, K. ET VICK, S. G., (2000), *Dam Safety Risk Analysis for Navajo Dam*, Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB), Beijing 2000.
- CIGB (2005). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Évaluation du risque dans la gestion de la sécurité du barrage*. Bulletin 130.
- MCLEOD, H. ET PLEWES, H., (1999). Risk Management Analysis, *Canadian Dam Safety Conference*, Sudbury.

8.8. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

- ANCOLD (1994). AUSTRALIA NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guidelines on Risk Assessment*.
- AMC (1998). ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA. *Un guide de gestion des parcs à résidus miniers*.

8.6. RESIDUAL RISK (CONTINGENCY PLAN)

The risks remaining, after compensating factors and risk management plans are applied, are classified as residual risks, and represent the expected risks associated with the project. Monitoring plans, contingency plans and emergency plans are required for the residual risks.

The mining community has made tremendous progress over the last 20 years in addressing the factors that are necessary for tailing dams to be socially acceptable. The tools are in place for the designers, the community and the mining proponent to design tailing facilities to reduce the risk and to maximize the benefits to society. Risk assessment methodologies are in place for quantifying the risks and this is a valuable tool for communication with stakeholders.

However, all facilities carry some degree of risk; even after risk management plans have been implemented. A risk contingency plan is therefore required to address those risks which cannot be eliminated. Contingency plans set forth the necessary actions to mitigate the consequences if an event occurs. Contingency plans should address issues of responsibility, notification, emergency response, technical monitoring, technical response and other issues.

As with any structure theoretically capable of failure, tailings dams require a contingency plan to be developed to deal with a possible accident. As tailings accidents may involve either physical and/or chemical consequences for people and the environment, both of these aspects need to be considered. In addition to the requirements for support equipment, it is necessary to have clear communications and coordination plans in place in order to manage the response. Emergency response plans necessarily require that the potentially affected community understands what it must do in case of an accident.

8.7. REFERENCES

- DISE, K. AND VICK, S. G., (2000), *Dam Safety Risk Analysis for Navajo Dam*, International Commission on Large Dams (ICOLD), Beijing 2000.
- ICOLD (2005). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Risk Assessment in Dam Safety Management*. Bulletin 130.
- MCLEOD, H. AND PLEWES, H., (1999). Risk Management Analysis, *Canadian Dam Safety Conference, Sudbury*.

8.8. FURTHER READING

- ANCOLD (1994). AUSTRALIA NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guidelines on Risk Assessment*.
- MAC (1998). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *A Guide to the Management of Tailing Facilities*.

9. VÉRIFICATIONS EXTERNES

9.1. GÉNÉRALITÉS

La vérification externe d'un barrage de stériles miniers est considérée comme un critère fondamental. Cela englobe la vérification de la conception, de la performance et de la sécurité des installations de manière périodique, par un professionnel externe qualifié et expérimenté. Celui-ci ne doit pas avoir participé à la conception, à la construction ou à l'exploitation des installations. Lorsqu'elles sont faites adéquatement, les vérifications externes représentent un outil qui peut aider grandement à améliorer la sécurité du barrage. On recommande que l'initiative d'une vérification externe soit prise au niveau de la direction de la société minière, afin de garantir les capacités de décision et le financement nécessaires pour entreprendre des mesures correctives éventuelles.

L'étendue de la vérification est propre à chaque site et peut varier en fonction de la cote de danger potentiel du parc à résidus miniers.

Les vérifications externes ne doivent pas se substituer à une surveillance et à un suivi adéquat réalisés par la société minière et par l'industrie.

Les motifs qui justifient le recours aux vérifications externes sont :

1. Le fait que les ruptures continuent de se produire, même si la technologie pour construire et pour exploiter des barrages de stériles miniers sûrs existe. La plupart des ruptures et des incidents mentionnés dans le Bulletin 121 de la CIGB « Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences » ont été provoquées par des erreurs, soit dans la phase de la conception ou de l'exploitation des installations. Les erreurs humaines et les défauts de construction sont, par conséquent, des facteurs qui ne peuvent être exclus. C'est pourquoi une « deuxième opinion » ou une vérification externe représente un outil de gestion nécessaire.
2. Le fait qu'une vérification externe ne couvre pas seulement les erreurs humaines, mais apporte un « regard neuf » sur les installations, avec le recul que peuvent avoir perdu ceux qui travaillent sur le projet jour après jour, année après année. Toutes les personnes, employés, sous-traitants et consultants, qui travaillent sur des installations peuvent, après un certain temps, devenir insensibles aux risques et aux autres enjeux concernés.
3. L'indépendance représente un autre facteur important lors de la vérification. Les experts auxquels on fait appel pour la conception, la construction et les autres projets des installations sont toujours, dans une certaine mesure, dépendants de la société minière. Le fait de travailler en étroite collaboration avec une société minière peut, avec le temps, faire en sorte qu'un expert devienne « un d'entre eux ». De manière inconsciente, cela peut influencer les décisions prises, même si l'intention demeure d'être objectif.

Dans certains pays, on exige également que la structure organisationnelle et que la procédure de vérification externe d'un exploitant de barrage fasse l'objet d'une révision périodique de la part des autorités.

9. EXTERNAL AUDITS

9.1. GENERAL

The external audit of a tailings dam is seen as a fundamental requirement. This means the audit of design, performance and safety of the facility on a regular basis by an external, qualified and experienced professional, who is not involved with the design, construction or operation of the facility. External audit is a tool that can be of great assistance in improving dam safety when used properly. It is suggested that the initiative for an external audit is taken at company management level to ensure required authority and funding to initiate possible actions.

The level of audit detail will be site specific and may vary according to the potential hazard rating of the TSF.

External audits are not a substitute for regular surveillance and monitoring undertaken by the mine and industry.

Motivations in support of an external audit are:

1. Failures continue to occur even though technology to construct and to operate safe tailings dams is available. Most of the failures and incidents listed in the ICOLD Bulletin 121 “Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences” were caused by mistakes, either in the design phase or during the operation of the facility. Human errors and construction defects are consequently factors there cannot be excluded, which makes the need of a “second opinion” or an external audit a necessary management tool.
2. An External audit will not just cover human mistakes but bring in “fresh” eyes to look at the facility from a perspective that might have been lost to the people working on the site day after day and year after year. All people, employees, contractors and consultants, working on a facility, may after some time, become desensitised to the risks and issues involved.
3. Independence is also an important factor when performing an audit. The experts used for design, construction and other projects on the facility are always to some extent dependent on the mining company. Working closely with a mining company can, with time, make the experts become “one of them”, which might unconsciously effect decisions even if the intentions are to be objective.

In some countries it is also a requirement that the organisational structure and external review procedure of a dam owner is subject to review by authorities at regular intervals.

9.2. FRÉQUENCE DES VÉRIFICATIONS

Les vérifications externes sont essentielles et, par conséquent, devraient être réalisées sur une base régulière. Les intervalles s'écoulant entre les vérifications peuvent varier en fonction principalement de la cote de danger associée aux installations. D'autres facteurs qui peuvent influencer les intervalles sont les changements de la vitesse de montée, la construction et la méthode de déposition, le type d'organisation de sécurité des barrages, la fréquence des incidents, la fréquence des non-conformités constatées lors d'une vérification précédente, l'expérience du personnel de la société minière et de ses consultants, ainsi que toute autre modification importante dans la conception ou l'exploitation du barrage.

La personne ou l'équipe qui réalise la vérification devrait inviter la société minière à s'assurer que les mesures recommandées sont mises en œuvre. L'échéance de la vérification externe suivante devrait être convenue entre la société minière et la personne ou l'équipe responsable de la vérification. Dans de nombreux pays, les systèmes de classification ayant trait au danger ou aux conséquences sont liés aux intervalles recommandés de vérification.

9.3. PORTÉE DE LA VÉRIFICATION

La vérification externe devrait couvrir tous les aspects ayant trait à la sécurité d'un barrage qui peuvent influencer la sécurité globale du parc à résidus miniers, par exemple :

- les plans et devis soumis, approuvés par les autorités compétentes (conformes aux permis et aux normes), suivi des changements et plans tels que construit ;
- les phases précédentes de construction/déposition, conformément à la conception ;
- les problèmes et incidents s'étant produits dans le passé ;
- la conception future/planifiée, conformément aux normes en vigueur ;
- la construction et la déposition continues, conformément aux normes en vigueur ;
- le suivi de l'instrumentation et des exfiltrations, des eaux souterraines, de la pression interstitielle et des mouvements, conformément aux normes en vigueur; la fréquence des lectures, l'étalonnage de l'équipement, l'évaluation et l'enregistrement des lectures et les plans d'intervention lorsque les lectures ne sont pas conformes aux résultats prévus ;
- la vérification du fait qu'une personne est officiellement désignée d'assumer la responsabilité et détient l'autorité requise; que les rôles et responsabilités de chaque intervenant sont précisés, et enfin qu'un programme de formation et qu'un système de signalement des incidents soient mis en œuvre ;
- la pertinence du manuel d'exploitation, du manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance, ou autre document du genre, y compris ceux visant les méthodologies liées à la déposition et à l'érection du barrage, la gestion des bassins et des eaux, le contrôle des exfiltrations et des poussières, les voies d'accès, la surveillance, la documentation et les examens des manuels ;

9.2. AUDIT FREQUENCY

External audits are essential and should therefore be carried out on a regular basis. The intervals in between audits can vary depending primarily on the hazard rating of the facility. Other factors that can affect the interval are changes to rate of rise, construction and deposition method, dam safety organisation, occurrence of critical incidents, occurrence of non-compliance in previous audit, experience of company staff and their consultants as well as occurrences of any major changes in dam design or operations.

The person/team performing the audit should encourage the mining company to ensure that recommended actions are implemented. A suitable interval for the next external audit should be agreed up on between the mining company and the audit person/team. In many countries, classification systems, related to hazard or consequence, are linked to recommended intervals for audits.

9.3. AUDIT SCOPE

An external audit should cover all aspects related to dam safety that can affect the over- all safety of a TSF, e.g.:

- current design, design according to permits and applicable standards, as-built and design changes documentation ;
- previous construction/deposition phases in accordance with design ;
- past problems and incidents ;
- future/planned design in accordance with applicable standards ;
- ongoing construction and deposition in accordance with applicable standards ;
- monitoring of instrumentation and seepage, groundwater, pore pressure and movements according to applicable standards, frequency of readings, calibration of equipment, evaluation and record of readings, action plan when readings fall outside expected results ;
- ensuring that one person is formally appointed and given responsibility and authority, that the roles and responsibilities for all individuals are specified, and that a training program and incident reporting system is implemented ;
- adequacy of the Operating Manual, Operation, Maintenance and Surveillance manual (OMs manual), or similar, including deposition and dam raise methodology, pond and water management, seepage and dust control, access roads, surveillance, documentation and reviews of the manual ;

- le bilan hydrique global des installations ;
- la surveillance, réalisée conformément aux normes en vigueur;
- l'évaluation des risques, les ruptures de barrages, les percolations non contrôlées ;
- la cote de danger, notamment en ce qui a trait aux pertes de vie, et aux aspects environnementaux et économiques (ou sur la société minière) ;
- les plans d'intervention en cas d'urgence, les procédures d'évacuation, la liste de tous les détails à l'intention du personnel de la sécurité et des services d'urgence ;
- le plan de fermeture, notamment l'analyse de danger, la stabilité à long terme, le confinement sûr des matériaux toxiques, la productivité des terres et les critères esthétiques (voir le Chapitre 7 : Aspects critiques ayant trait à la fermeture) ;
- la compilation, l'archivage et l'accessibilité de dossiers fiables ayant trait à tout ce qui touche au barrage de stériles miniers et à la sécurité du barrage sur le site.

Les qualifications requises pour réaliser une vérification externe peuvent varier en fonction des cotes de danger associées aux installations. Si la vérification touche divers domaines d'expertise, on devrait faire appel à une équipe d'experts. Dans le cas des barrages de stériles miniers, la géotechnique représente en général l'aspect le plus critique, et le spécialiste en géotechnique peut s'avérer la personne mieux désignée pour diriger l'équipe de vérification.

D'autres sciences requises pour la vérification peuvent comprendre la géologie, l'hydraulique, l'hydrologie, l'hydrogéologie et la géochimie, selon les conditions locales du site.

Les personnes réalisant une vérification externe devraient être des spécialistes possédant une expérience documentée dans leur science particulière, ainsi qu'une expérience directe des projets de gestion des stériles miniers. Dans plusieurs cas, il pourrait s'avérer avisé d'avoir recours à des spécialistes ayant une expérience internationale, pour bénéficier de connaissances et de perspectives nouvelles et globales.

9.4. EXIGENCES ACTUELLES DE DIVERS PAYS

Les vérifications externes devraient commencer par un examen de la conception et de l'exploitation de l'installation, par rapport aux normes, recommandations, etc. du pays en question. Les réalisations documentées de l'exploitant devraient également être vérifiées. À cet égard, les normes types de quelques pays, qui semblent avoir des exigences croissantes, sont présentées ci-dessous :

Australie

Les recommandations australiennes définissent les normes pour des inspections de routine et des vérifications des exploitations (voir la Section 9.5).

- overall water balance of the facility ;
- surveillance performed according to applicable standards ;
- risk assessment, dam break, uncontrolled seepage ;
- hazard rating, including loss of lives, environmental and economical (or corporate) aspects ;
- emergency preparedness plans, evacuation procedure, list of all details for safety personnel and emergency services ;
- closure plan including hazard analysis, long term stability, safe containment of toxic material, land productivity and aesthetics. See Chapter 7: Critical Closure Aspects ;
- compilation, storage and accessibility of reliable records on everything regarding the tailings dam and dam safety on site.

Qualifications to perform an external audit might vary depending on the hazard rating of the facility. If the audit incorporates several fields of expertise, a team of specialists should be appointed. For tailings dams the geotechnical science is, in general, of main major interest and the geotechnical specialist may be the most appropriate leader of an audit team.

Other sciences required for the audit, depending on local site conditions, might include geology, hydraulics, hydrology, hydrogeology and geochemistry.

Persons performing an external audit should be specialists with documented experience in the particular sciences, and direct experience with tailings disposal projects. In many cases it might be wise to use specialists with international experience to bring in new broader knowledge and views.

9.4. CURRENT REQUIREMENTS IN DIFFERENT COUNTRIES

External audits should commence with a review of the design and operation of the facility against the standards, guidelines etc. of the country in question as well as documented undertakings by the facility owner. In this respect, typical standards of a few countries, which appear to have increasing requirements, are presented below:

Australia

The Australian guidelines define standards for routine inspections and operational audits. (See 9.5)

Canada

Les recommandations canadiennes, publiées par l'Association minière du Canada (AMC), proposent que les inspections et examens périodiques, les vérifications, les vérifications externes et les processus de revue externe complets soient réalisés dans le cadre du programme de surveillance (voir la Section 9.5). À l'heure actuelle (2006), l'Association minière du Canada préparait un guide pour la vérification des parcs à résidus miniers.

Afrique du Sud

Le principal document réglementant les activités de gestion des stériles miniers à l'intention des sociétés minières en Afrique du Sud est le Mandatory Code of Practice for Mine Residue Deposits (MRU's) du Department of Mineral and Energy. Ce code exige que chaque mine établisse sous forme écrite des normes et procédures prévues pour la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs et pour la réduction des risques de dommages provoqués aux personnes et aux propriétés.

Les aspects environnementaux ayant trait à la gestion des résidus miniers sont abordés dans le Environmental Management Program Report (EMPR), qui est également exigé en vertu de la loi sud-africaine sur les minéraux.

La loi nationale sur les eaux, ainsi qu'une série de six recommandations publiées (M1 à M6), régissent les aspects ayant trait à la qualité des eaux.

La conception des installations de gestion des résidus miniers en Afrique du Sud est soumise au SABS 0286: Code of Practice for Mine Residue Deposits

Suède

Règle générale, toutes les sociétés minières disposent de programmes concernant les inspections quotidiennes, mensuelles et annuelles. De plus, des inspections externes approfondies sont exigées à des intervalles déterminés en fonction de la cote de danger et de la vitesse de montée du parc à résidus miniers en question.

États-Unis

Les recommandations ou les exigences en matière de vérification des activités de gestion des résidus miniers aux États-Unis dépendent principalement des lois de l'État dans lequel le bassin se situe. Aucune exigence particulière ne s'applique à l'échelle du pays. L'attribution du permis à des installations de traitement des résidus miniers varie d'un État à l'autre et peuvent être régis par les critères concernant la sécurité d'un barrage de retenue des eaux traditionnel, par des critères de sécurité particuliers aux bassins de retenue de stériles, ou encore par des critères environnementaux associés (tels que la protection des eaux souterraines ou l'attribution de permis associés aux matériaux radiologiques). En outre, certaines sociétés minières disposent de critères internes quant aux examens et aux signalements concernant leurs activités.

Brésil

Les critères concernant les vérifications externes ont été établis pour les barrages de stériles miniers en fonction du potentiel de danger : vérifications annuelles pour les barrages à danger élevé, tous les deux ans pour les barrages à danger modéré et tous les trois ans pour les barrages à faible danger.

Canada

Canadian guidelines, produced by the Mining Association of Canada (MAC), suggest that periodic inspections and reviews, audits, external checks and comprehensive external reviews be carried out as part of the surveillance program. (See 9.5) MAC is currently (2006) preparing a Guideline for Audit of Tailings Facilities.

South Africa

The primary document controlling mining companies tailings disposal activities in South Africa is the Department of Mineral and Energy Mandatory Code of Practice for Mine Residue Deposits (MRU's). This code requires each and every mine to set out in writing its intended standards and procedures for the protection of the health and safety of workers, and for the reduction of the risk of damage to persons and property.

Environmental aspects pertaining to the MRD are addressed in each mining companies' Environmental Management Program Report (EMPR), which is also required in terms of South Africa's Minerals Act.

The National Water Act and a series of six Guideline Documents control water quality aspects, M1 to M6.

The design of MRDs in South Africa is guided by SABS 0286: Code of Practice for Mine Residue Deposits.

Sweden

Generally all mining companies have programs for daily, monthly and yearly inspections. In addition, thorough external inspection is required at intervals depending on the hazard rating and rate of raise for the tailings facility in question.

USA

The guidelines or requirements for audits of tailings disposal operations in the US depend primarily on the laws of the state where the impoundment is located. There are no specific requirements that apply throughout the US. The licensing of a tailings disposal operation varies from state to state, either under conventional water-storage dam safety requirements, safety requirements specifically for tailings impoundments, or under related environmental requirements (such as groundwater protection or radiological materials licensing). Furthermore, some mining companies have internal review and reporting requirements for their operations.

Brazil

The criteria for external audit was established for tailings dams, as a function of the hazard potential namely: annual for high hazard, every two years for medium hazard and every three years for low hazard dams.

9.5. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

- ANCOLD (2003). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guidelines on Dam Safety Management*. Australia.
- DEPARTMENT OF MINERAL AND ENERGY, REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (1991). *Minerals Act*. (Act No. 50 of 1991).
- DEPARTMENT OF MINERAL AND ENERGY, REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (2000). *Guideline for the Compilation of a Mandatory Code of Practice on Mine Residue Deposits (MRDs)*.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*.
- AMC (1998). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Un guide de gestion des parcs à résidus miniers*. Ottawa, Ontario, Canada. (Juillet 2004).
- AMC (2000). ASSOCIATION MINIERE DU CANADA. *Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux*. Ottawa, Ontario, Canada.
- REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (1998). National Water Act. Guideline Documents, M2 and M6.1. South Africa.
- SABS 0286 (1998). SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS. *Code of Practice for Mine Residue Deposits*.
- THE DEPARTMENT OF INDUSTRY AND RESOURCES (1999). *Tailings Dam HIF Audit* (Audit Report and Guideline). Mining Operations Division Audit Management System, Australia.
- UNEP (PNUE – PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT) ET GOVERNMENT OF AUSTRALIA (2000). *Accident Prevention in Mining – Environmental Regulation for Accident Prevention: Tailings and Chemicals management*. Summary Report. Perth, Western Australia.
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson.

9.5. FURTHER READING

- ANCOLD (2003). AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. *Guidelines on Dam Safety Management*. Australia.
- DEPARTMENT OF MINERAL AND ENERGY, REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (1991). *Minerals Act*. (Act No. 50 of 1991).
- DEPARTMENT OF MINERAL AND ENERGY, REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (2000). *Guideline for the Compilation of a Mandatory Code of Practice on Mine Residue Deposits (MRDs)*.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*.
- DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*.
- MAC (1998). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *A Guide to the Management of Tailings Facilities Ottawa, Ontario, Canada*. (July 2004).
- MAC (2000). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *Developing an Operation, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Management. Ottawa, Ontario, Canada*.
- REPUBLIC OF SOUTH AFRICA (1998). National Water Act. Guideline Documents, M2 and M6.1. South Africa.
- SABS 0286 (1998). SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS. *Code of Practice for Mine Residue Deposits*.
- THE DEPARTMENT OF INDUSTRY AND RESOURCES (1999). *Tailings Dam HIF Audit* (Audit Report and Guideline). Mining Operations Division Audit Management System, Australia.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) AND GOVERNMENT OF AUSTRALIA (2000). *Accident Prevention in Mining – Environmental Regulation for Accident Prevention: Tailings and Chemicals management*. Summary Report. Perth, Western Australia.
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson.

10. PLAN D'INTERVENTION EN CAS D'URGENCE

10.1. GÉNÉRALITÉS

Le présent chapitre représente essentiellement un résumé du document APELL for Mining, Technical Report No 41 du PNUE (2001) et du travail réalisé par les comités australien, suédois et canadien. L'objectif de ces références est d'offrir des recommandations à l'industrie minière afin de favoriser une plus grande sensibilisation et une meilleure préparation en cas d'urgence au niveau local. Cette initiative du PNUE a vu le jour en réponse aux besoins et aux exigences de l'industrie minière. Une réaction précoce efficace aux accidents, particulièrement dans le cas de ceux ayant des effets en dehors du site, impose que la communauté externe locale soit informée. En outre, des plans d'action qui englobent la participation du personnel de la mine ou de l'industrie et des communautés environnantes doivent être en place.

Des accidents survenus récemment et mettant en jeu des barrages de stériles miniers ont encore plus mis en lumière l'importance de la préparation aux urgences, si on désire limiter le plus possible les conséquences d'un accident. Un bon plan d'intervention en cas d'urgence ne représente pas seulement un outil permettant de réduire les dangers potentiels, mais sert également à démontrer que l'industrie assume ses responsabilités en vue d'un développement durable. Dans le cas de nombreux barrages de stériles miniers, les conséquences d'un incident ou d'une rupture auraient des effets au-delà des limites du site de la mine, ayant ainsi des répercussions sur les intérêts du grand public. Par conséquent, il est important pour l'industrie de se comporter de façon responsable et ainsi gagner la confiance du public.

10.2. ÉLÉMENTS D'UN PLAN D'INTERVENTION EN CAS D'URGENCE

Le plan d'intervention en cas d'urgence devrait faire partie du manuel d'exploitation du barrage de stériles miniers. Il se rapporte aux activités de surveillance et de suivi. Si des changements, une mauvaise gestion, des problèmes structuraux, une défaillance de l'équipement ou encore des phénomènes naturels comme des inondations, ouragans ou séismes font en sorte que le barrage s'approche ou excède les valeurs de conception, ou encore si on constate des risques associés au barrage, des procédures sont requises pour déterminer les dispositions à prendre et ce qui doit être fait en cas de rupture ou d'incidents dangereux.

Il est également important de définir clairement les responsabilités et les pouvoirs de décider à l'égard de toute action possible; cela s'applique non seulement dans le cas de mesures de nature technique, mais aussi à tout ce qui a trait à la coordination, à l'information et à la communication, tant en interne qu'en externe. La capacité d'une personne de prendre en charge les responsabilités qui lui sont

10. EMERGENCY PREPAREDNESS

10.1. GENERAL

This chapter is basically a summary of UNEP's APELL for Mining, Technical Report No 41 (UNEP, 2001) and the work done by the Australian, Swedish and Canadian committees. The purpose of the reference is to offer guidelines to the mining industry in raising awareness and preparedness for emergencies at local level. This initiative, by UNEP, has arisen through the needs and requirements of the mining industry, where effective early response to accidents, especially those with off-site impacts, requires an informed local external community, and response plans that include the mines' or industries' own staff and their community neighbours.

Recent accidents with tailings dams have even further highlighted the importance of preparedness for emergencies to minimize the consequences of an accident. A good emergency preparedness plan (EPP) is not only a tool to reduce the possible hazard but also to prove that the industry accepts responsibility for a sustainable development. At many tailings dams the consequences of an incident, or a failure, may have effects beyond the boundaries of the mine site, thereby impacting on the general public interest. It is therefore important for the industry to act in a responsible manner and thus gain the confidence of the public.

10.2. COMPONENTS OF AN EPP

The EPP should be part of the tailings dam operating manual and related to the routines of surveillance and monitoring. If changes, mismanagement, structural problems, equipment malfunctions or natural events such as floods, hurricanes or earthquakes could cause the tailings dam to approach, or exceed, design values, or if there are assessed risks associated with the dam, procedures are required on how to react and what to do in the event of a failure or hazardous incident.

Equally important is to clearly define the chain of responsibility and authority for all possible actions, not only for actions of a technical nature, but also for internal and external coordination, information and communication. The ability of a person to manage the responsibility assigned to him in emergency situations is determined by an understanding of the structure and the event, through education

assignées en situation d'urgence est déterminée par une compréhension de la structure et de l'événement, qu'elle acquiert par l'entremise de l'éducation et de la formation. La haute direction dispose de la responsabilité et de la continuité lui permettant d'assurer l'élaboration et la mise en oeuvre du plan d'intervention en cas d'urgence. Un plan d'intervention en cas d'urgence qui n'est pas secondé par une mise en œuvre adéquate et une formation régulière est, dans bien des cas, de maigre secours en cas d'urgence.

Exemples d'éléments devant être prévus dans un plan d'intervention en cas d'urgence :

- identification des parties concernées pouvant être affectées ;
- objectifs du plan d'intervention en cas d'urgence, comprenant ses objectifs et sa portée ;
- évaluation des scénarios d'urgence, des risques, des zones touchées et des dangers en aval ;
- coordination et responsabilité de chaque participant ;
- organisation et systèmes de communication ;
- procédures et systèmes d'urgence et de signalement ;
- équipements et ressources internes et externes requis pour une intervention rapide du plan d'intervention en cas d'urgence ;
- procédures d'intervention d'urgence pour chaque scénario ;
- procédure de restauration afin de reprendre les activités normales ;
- formation régulière.

Le plan d'intervention en cas d'urgence est propre à chaque site et à chaque situation, et doit être élaboré et revu continuellement pour chaque barrage de stériles miniers.

10.3. RÉFÉRENCES

UNEP (2001). PNUE – PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT. APELL for Mining *Guidance for the Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level*. Technical Report N°41. Louis-Jean, France.

10.4. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (2001). Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa. September 2001.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*. (Chapter 2.2.5).

GOLDER ASSOCIATES (2001). *Giving Guidance for Developing Tailings Regulations* Report to United Nations Environment Programme. (non publié, août 2001).

and training. Senior management has the responsibility and continuity, to ensure the development and implementation of the EPP. An EPP without proper implementation and regular training is, in most cases, of little use in the event of an emergency.

Examples of what an EPP should include are:

- identification of potentially affected stakeholders ;
- purpose of the EPP including objectives and scope ;
- evaluation of emergency scenarios, risks, affected areas and downstream hazards ;
- co-ordination and responsibility of each participant ;
- communication organisation and systems ;
- emergency and notification procedures and systems ;
- internal and external equipment and resources as required for prompt intervention of EPP ;
- emergency response procedures for each scenario ;
- remediation procedures to return to normal operation ;
- regular training.

The EPP is specific for each site and each situation and must be developed and continuously revised for each tailings dam.

10.3. REFERENCES

UNEP (2001). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. APELL for Mining Guidance for the Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. Technical Report N°41. Louis-Jean, France.

10.4. FURTHER READING

CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (2001). *Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa*. September 2001.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, WESTERN AUSTRALIA (1998). *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage* (Chapter 2.2.5).

GOLDER ASSOCIATES (2001). *Giving Guidance for Developing Tailings Regulations* Report to United Nations Environment Programme (Unpublished August 2001).

- GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA, DEPARTMENT OF MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES (DMPR) (1999), FORMERLY DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY. *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*. 2nd edition.
- JONES, H., (1997). *Balancing Community Concerns and Industry Requirements - the Regulator's Challenge*. United Nations Environment Programme (UNEP) Industry and Environment.
- JONES, H., (1998). *Risk Assessment - A Regulator's Perspective*. Proceedings. of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings. UNEP-ICME, Buenos Aires.
- JONES, H., (2002). *Regulation and Safety for Tailings*. International Committee on Large Dams (ICOLD) Workshop, Belo Horizonte.
- AMC (2002). ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA. *Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux*. Ottawa, Ontario, Canada. (Chapitre 8).
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson (Chapitre 5).
- UNEP-ICME-SIDA (1997). *Proceedings of the International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal*, Stockholm.
- UNEP-ICME (1998). *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires.

- GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA, DEPARTMENT OF MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES (DMPR) (1999), FORMERLY DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY. *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*. 2nd edition.
- JONES, H., (1997). *Balancing Community Concerns and Industry Requirements - the Regulator's Challenge*. United Nations Environment Programme (UNEP) Industry and Environment.
- JONES, H., (1998). *Risk Assessment - A Regulator's Perspective*. Proceedings. of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings. UNEP-ICME, Buenos Aires.
- JONES, H., (2002). *Regulation and Safety for Tailings*. International Committee on Large Dams (ICOLD) Workshop, Belo Horizonte.
- MAC (2002). MINING ASSOCIATION OF CANADA. *DEVELOPING AN OPERATION, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Management Facilities*. Ottawa, Ontario, Canada. (Chapter 8).
- RIDAS (2002). Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. *Hydropower Industry Dam Safety Guidelines*. Swedenergy, Stockholm: Birger Gustafsson (Chapitre 5).
- UNEP-ICME-SIDA (1997). *Proceedings of the International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal*, Stockholm.
- UNEP-ICME (1998). *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires.

11. LE RÔLE DES ORGANISMES DE RÉGLEMENTATION

11.1. GÉNÉRALITÉS

On reconnaît généralement que la réglementation officielle mise en place par les gouvernements à l'égard de l'industrie de la gestion des stériles miniers joue un rôle essentiel pour favoriser une plus grande sécurité physique et environnementale. Les exigences réglementaires varient considérablement d'un pays à l'autre, tel que le démontre le rapport non publié de 2001 du PNUE (Golder Associates, 2001) concernant sept territoires choisis (le Chili, le Japon, l'Ontario, l'Afrique du Sud, la Suède, l'Ouest de l'Australie et le Zimbabwe). Dans de nombreux États, les lois ont été développées en réaction directe à des événements passés, tandis qu'à d'autres endroits, elles ont été adoptées de manière proactive afin d'éviter que des incidents indésirables ne se produisent.

Si un pays souhaite le développement d'une industrie minière sûre et profitable, il doit faire en sorte que sa législation et ses autorités de réglementation favorisent un juste équilibre entre les contrôles imposés aux promoteurs et la liberté qui leur est accordée pour leur permettre la performance optimale de leurs exploitations d'un point de vue économique et environnemental. La législation et la façon dont elle est mise en application doivent être équilibrées, équitables, transparentes, et répondre clairement aux exigences de la communauté.

Les prochaines sections du présent chapitre décrivent certains paramètres qui peuvent être pris en considération dans l'élaboration de lois ou leur amendement, à l'intention des pays qui en sont toujours à la mise au point de leur réglementation à cet égard.

11.2. QUESTIONS DE RÉGLEMENTATION

11.2.1. Objectifs de la réglementation

La réglementation doit avoir pour objectif de gérer les principales préoccupations des gouvernements. Elles comprennent :

- les décès et les blessures provoqués au sein grand public ;
- les décès et les blessures subies par des employés ;
- les obligations à l'égard du trésor public ;
- les dommages aux infrastructures publiques ;
- les impacts environnementaux à court terme (aigus) ; et
- les impacts environnementaux à long terme (chroniques).

Les sept systèmes de réglementation « de succès » signalés par le PNUE représentent des situations très variées en matière de distribution géographique, de

11. THE ROLE OF REGULATORS

11.1. GENERAL

Formal regulation by government in the tailings management industry is generally acknowledged to play an essential role in promoting increased physical and environmental safety. Regulatory requirements vary considerably in different countries as shown in the unpublished 2001 UNEP report (Golder Associates, 2001) on seven selected jurisdictions (Chile, Japan, Ontario, South Africa, Sweden, Western Australia and Zimbabwe). In many jurisdictions legislation has developed as a direct response to past events, while in some legislation has been developed in a pro-active manner, aimed at preventing unwanted incidents occurring.

If a jurisdiction is to have a safe and successful mining industry then its legislation and regulating authorities must encourage a balance between the controls imposed on operators while still allowing those operators sufficient freedom to achieve the optimum economic and environmental performances for their operations. The legislation and the manner in which it is applied must be proportionate, fair, transparent and clearly responding to the community requirements.

For those countries still developing their regulations the following chapter subsections set out some of the parameters that may be taken into consideration in drafting or amending regulations.

11.2. REGULATION MATTERS

11.2.1. Purpose of Regulations

Regulations are intended to manage major areas of concern to governments. These include:

- death and injury to the general public;
- death and injury to employees;
- liability to the public purse;
- damage to public infrastructure;
- short term (acute) environmental impacts; and
- long term (chronic) environmental impacts.

The seven “successful” regulatory regimes reported on to UNEP represented a wide range of geographical distribution, climates, seismic activity potential, mining

conditions climatiques, de potentiel d'activité sismique, d'antécédents miniers et de « style » législatif. Lors de la rédaction du rapport (2001), ces ensembles de lois se concentraient principalement sur deux résultats principaux :

- réduire le risque d'accidents graves, et
- réduire le potentiel de pollution chronique des eaux souterraines.

11.2.2. Mise en application

Le cadre réglementaire idéal devrait présenter :

- une seule autorité, en mesure d'évaluer les parcs à résidus miniers, de leur accorder les permis et de les superviser ;
- cette autorité disposerait de personnel expérimenté et compétent d'un point de vue technique ;
- les lois devraient être fondées sur le danger (ou les conséquences) ;
- la réglementation devrait définir les résultats à obtenir à toutes les étapes de l'exploitation, plutôt que de prescrire en détail de quelle façon ces résultats doivent être atteints ;
- la réglementation devrait permettre aux autorités de suspendre les activités et d'imposer des mesures correctives si les objectifs requis ne sont pas atteints ;
- la réglementation devrait être suffisamment flexible pour répondre aux variations considérables en matière de critères qui peuvent se présenter d'un site à l'autre ; et
- la réglementation devrait être en mesure de tenir compte des changements à venir quant aux connaissances techniques et/ou aux attentes des communautés.

Toutefois, dans la pratique, la réglementation concernant les parcs à résidus miniers relève de plus d'un ministère au sein de la plupart des gouvernements. Les ministères plus souvent concernés sont ceux des mines, de la protection de l'environnement, des travaux publics, des eaux, des ressources naturelles et de la sécurité des travailleurs. N'importe lequel de ces ministères ou même la totalité d'entre eux peuvent être considérés comme ayant un rôle légitime à jouer dans la réglementation des parcs à résidus de l'industrie minière.

Le rôle des divers ministères dans différents pays est généralement le résultat d'une série de facteurs historiques et de protocoles administratifs. Il est fondamental que ces rôles soient reconnus par tous les intervenants, de sorte que tout conflit potentiel entre les ministères soit identifié et résolu. Cet objectif peut souvent être atteint par l'entremise de divers accords formels (préférables, dans une large mesure) ou informels entre les ministères concernés, nécessaires pour garantir que les réglementations ayant trait aux stériles sont complémentaires les unes avec les autres et éviter les chevauchements ou, ce qui est encore plus important, les lacunes.

Dans certains cas, on retrouve plusieurs paliers de gouvernement (p. ex. un gouvernement national et une administration locale) qui peuvent avoir différentes visées en ce qui concerne les activités d'une exploitation minière en particulier.

history and legislative “style”. At the time of the report (2001) their regulations predominantly focused on two major outcomes:

- reducing the potential for acute accidents, and
- reducing the potential for chronic groundwater pollution.

11.2.2. Implementation

An ideal regulatory framework would have:

- a single authority to assess, license and monitor all tailings systems ;
- the authority would have access to experienced, technically competent staff ;
- regulations would be hazard (or consequence) based ;
- regulations would set the outcomes to be attained at all stages of operation rather than proscribing in detail how the outcomes are to be attained ;
- regulations would empower the authority to stop operations and direct remedial work if the required outcomes are not being attained ;
- regulations would be flexible enough to accommodate the considerable variations in requirements that can occur from site to site ; and
- regulations would be able to accommodate future changes in technical knowledge and/or community expectations.

However, in practice regulation of tailings systems in most jurisdictions is the responsibility of more than one government department. Commonly mentioned departments are Mines, Environmental Protection, Public Works, Water, Natural Resources and Employee Safety. Any or all of these government departments can be seen to have a legitimate role in regulating tailings systems in the mining industry.

The roles of the various government departments in different jurisdictions are often a result of historical factors and administrative protocols. It is important that these roles are recognized by all involved so that any potential conflicts between these departments is identified and resolved. This can often be done through the use of various formal (the strongly recommended option) or informal agreements between the departments concerned. This is necessary to ensure regulations relating to tailings complement each other and avoid duplication or, even more importantly, omissions.

In some cases there is more than one level of government (e.g. national and local) which may have very different goals regarding individual mining operations.

11.2.3. Cote de danger (ou conséquences)

Une technique utilisée avec succès pour mettre sur pied une réglementation équilibrée consiste en une approche fondée sur l'évaluation des conséquences (ou du danger). Dans bon nombre de systèmes de gestion, le risque se définit comme :

Risque = Conséquences (ou Danger) x Vraisemblance (ou Probabilité)

Les réglementations se basent sur les conséquences potentielles de la rupture d'un parc à résidus minier pour définir l'étendue des éléments d'entrée de nature technique et de gestion exigés pour la conception et l'exploitation. Dans le cadre d'un tel système de réglementation, les « conséquences » comprennent les répercussions potentielles sur les communautés, le personnel de la société et l'environnement, ainsi que les impacts financiers (particulièrement lorsque ceux-ci concernent un tiers).

11.3. APPROCHE PROPOSÉE À LA RÉGLEMENTATION

La gestion des stériles miniers peut être considéré comme composé de quatre phases distinctes, mais interreliées, c'est-à-dire : l'approbation, la construction, l'exploitation et la fermeture (ou la fin de projet).

Dans la pratique, les ministères dont relève principalement chacune de ces quatre phases peuvent varier d'une phase à l'autre. Il est essentiel que la réglementation soit mise au point de sorte que la continuité des diverses phases, depuis l'approbation initiale jusqu'à la conclusion de la fermeture, représente un processus cohérent, sans grande lacune ni chevauchement de compétences.

On trouve ci-dessous les principaux éléments dont les systèmes de réglementation doivent tenir compte.

11.3.1. Phase d'approbation

Une évaluation des conséquences (ou des dangers) préalable à l'étude de faisabilité devrait déterminer l'étendue des critères techniques requis pour la conception du parc à résidus miniers proposé.

Le parc à résidus devrait être inclus dans toute étude d'impact sur l'environnement soumis à l'examen des autorités gouvernementales, normalement dans le cadre du processus d'approbation. Les diverses parties concernées devraient participer à tout processus d'élaboration des études d'impact sur l'environnement et les objectifs de fin de projet, notamment en ce qui a trait à l'affectation finale des terres, devraient être précisés.

La conception des parcs à résidus miniers devrait être réalisée et examinée (vérifiée) par des spécialistes compétents avant l'obtention d'une approbation par les gouvernements.

Les critères quant à la performance technique exigée par le gouvernement, notamment en ce qui a trait aux normes de qualité des eaux rejetées, devraient être précisés au promoteur pour lui permettre de les intégrer dans la conception du parc à résidus miniers.

11.2.3. Hazard (or Consequence) Rating

One technique that has been used with success in achieving balanced regulations is a consequence (or hazard) rating approach. In many management systems the risk is defined as:

$$\text{Risk} = \text{Consequence (or Hazard)} \times \text{Likelihood (or Probability)}$$

The regulations use the potential consequences of tailings failure to define the degree of technical and managerial input required for the design and operation. In such a regulatory system “consequences” include potential impact on the community, company employees, the environment and financial impacts (particularly where those impacts were to a third party).

11.3. SUGGESTED REGULATORY APPROACH

Tailings operations can be considered as four separate but inter-related phases namely: approval, construction, operating and closure (or completion).

In practice different government departments may have primary responsibility in these four phases. It is important the regulations are developed so that the continuum from the initial approval to ultimate closure is a smooth process without major gaps or overlap.

Listed below are the main elements that regulatory systems need to consider.

11.3.1. Approval Phase

A pre-feasibility consequences (or hazard) assessment should determine the level of technical input required to design the proposed tailings system.

The tailings system should be included in any environmental impact assessment (EIA) submitted to government authorities, normally an integral part of any approval process. Stakeholders should be involved in the EIA process and completion objectives, including an end land use, should be specified.

The design of tailings systems should be undertaken and reviewed (audited) by competent specialists prior to government approvals being given.

Technical performance requirements required by government such as water quality standards for discharged water should be specified to proponents so that they can be incorporated in the design of the tailings system.

Lorsque l'étude d'impact sur l'environnement a été réalisée, le gouvernement devrait prescrire l'établissement d'une caution adéquate pour garantir qu'il ne doive pas faire face à des dépenses inutiles lors de la fermeture des installations, et ce, avant que les autorisations ne soient accordées.

11.3.2. Phase de construction

La conception devrait faire l'objet d'un examen par les autorités de réglementation, avant le début des travaux de construction. Cette étape peut faire partie du processus d'approbation.

Toutes les phases de la construction devraient être soumises à une inspection et être documentées par des ingénieurs dûment qualifiés.

Un certificat attestant que le parc à résidus a été construit conformément à la conception approuvée devrait être émis avant le début des activités.

11.3.3. Phase d'exploitation

Les exploitants des parcs à résidus miniers devraient bénéficier d'une formation adéquate, et les installations devraient être exploitées conformément à un manuel d'exploitation propre au site.

Le parc à résidus devrait être régulièrement soumis à des inspections physiques et faire l'objet de rapports (vérifications) par des professionnels dûment qualifiés.

Les sociétés devraient fournir des rapports périodiques au gouvernement, illustrant le rendement des parcs à résidus miniers.

Les inspecteurs des gouvernements devraient avoir le pouvoir d'exiger que les sociétés modifient les parcs à résidus miniers ou suspendent leurs activités si les objectifs convenus ne sont pas atteints (p. ex. lorsque l'exploitation n'est pas dirigée conformément aux critères de conception).

11.3.4. Phase de fermeture

La phase de fermeture vise à permettre l'affectation finale des terres précisée, convenue entre les autorités de réglementation et la société (voir phase d'approbation).

S'il y a lieu, l'étendue des travaux d'entretien continus devrait être convenue.

Le montant du cautionnement décidé en accord avec les autorités compétentes avant le début des exploitations devrait être libéré (par paliers, si possible) après la réalisation d'une évaluation formelle (vérification) sur le parc à résidus miniers, si les installations répondent aux normes requises.

11.4. RÉFÉRENCES

GOLDER ASSOCIATES (2001). *Giving Guidance for Developing Tailings Regulations*. Report to United Nations Environment Programme (non publié).

When the EIA has been completed, but prior to approval being granted, government should require the establishment of a suitable surety to ensure it does not incur unnecessary expenditure at the completion of the tailings operation.

11.3.2. Construction Phase

The design should be reviewed by regulatory authorities, prior to construction commencing. This may be part of the approval process.

All stages of construction should be inspected and recorded by suitably qualified engineers.

A certificate that the tailings system has been constructed in accordance with the approved design should be issued prior to the operations commencing.

11.3.3. Operating Phase

Operators of tailings system should be suitably trained and the tailings systems should be operated in accordance with a site-specific operating manual.

The tailings system should be regularly subjected to physical inspections and reported on (audited) by suitably qualified professionals.

Companies should provide periodic reports to government outlining the performance of the tailings system.

Government inspectors should be empowered to require companies to modify or suspend use of the tailings systems if the agreed outcomes are not being attained (e.g. operations not being conducted in accordance with the design requirements).

11.3.4. Closure Phase

The objective of the closure phase is to achieve the specified end land uses agreed to between the regulator and the company (see Approval Phase).

The level of ongoing maintenance, if any, should be agreed.

The surety agreed to by government prior to the start of operations should be relinquished (possibly in a staged manner) after a formal assessment (audit) process has been carried out on the tailings storage facility and the facility meets the required standard.

11.4. REFERENCES

GOLDER ASSOCIATES (2001). *Giving Guidance for Developing Tailings Regulations*. Report to United Nations Environment Programme (Unpublished).

11.5. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (2001). Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa.
- GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA, DEPARTMENT OF MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES (DMPR), FORMERLY DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*. 2nd edition.
- JONES, H., (1997). *Balancing Community Concerns and Industry Requirements- the Regulator's Challenge*. UNEP Industry and Environment. Oct-Dec 1997.
- JONES, H., (1998). *Risk Assessment - A Regulator's Perspective. Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*. UNEP-ICME, Buenos Aires.
- JONES, H., (2002). *Regulation and Safety for Tailings*. International Committee on Large Dams (ICOLD) Workshop, Belo Horizonte.
- UNEP-ICME-SIDA (1997). *Proceedings of the International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal*, Stockholm, Sweden.
- UNEP-ICME (1998). *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires, Argentina.

11.5. FURTHER READING

- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA (2001) Conference on Environmentally Responsible Mining in Southern Africa.
- GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA, DEPARTMENT OF MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES (DMPR), FORMERLY DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY (1999). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*. 2nd edition.
- JONES, H., (1997). *Balancing Community Concerns and Industry Requirements - the Regulator's Challenge*. UNEP Industry and Environment. Oct-Dec 1997.
- JONES, H., (1998). *Risk Assessment - A Regulator's Perspective. Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*. UNEP-ICME, Buenos Aires.
- JONES, H., (2002). *Regulation and Safety for Tailings*. International Committee on Large Dams (ICOLD) Workshop, Belo Horizonte.
- UNEP-ICME-SIDA (1997). *Proceedings of the International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal*, Stockholm, Sweden.
- UNEP-ICME (1998). *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings*, Buenos Aires, Argentina.

12. TERMINOLOGIE

12.1. GÉNÉRALITÉS

La terminologie utilisée dans le présent Bulletin est définie dans la section suivante du présent chapitre. Celle-ci aidera le lecteur à mieux comprendre et apprécier le Bulletin. Selon le glossaire des termes relatifs aux barrages (CIGB 1994), «tailings» se traduit par «stériles» mais dans ce bulletin cela inclut également les matériaux finement broyés, soit les résidus miniers.

12.2. GLOSSAIRE

Terme	Signification/Définition
Drainage minier acide (DMA) ou Drainage rocheux acide (DRA)	Drainage/Écoulement acide provenant d'une exploitation minière à ciel ouvert ou souterraine, ou encore de parcs à résidus ou de haldes à stériles miniers contenant de l'acide sulfurique et des métaux dissous résultant de l'oxydation des minéraux sulfurés contenus.
Postfermeture	Dernière phase de la fermeture, requise pour s'assurer que les mesures prises donnent les résultats escomptés, conformément aux plans et aux attentes. Une fois cette vérification faite, la phase de suivi à long terme commence.
Bassin de clarification	Réservoir, séparé de l'aire d'accumulation des résidus, utilisé pour une deuxième étape de clarification et/ou un stockage prolongé de l'eau de procédé.
Fermeture	Fermeture et désaffectation d'une mine et des barrages de stériles miniers lorsque la production a cessé; elle comprend la transformation de la zone minière et du barrage en structures stables à long terme. La fermeture englobe normalement le démantèlement, la restauration (remise en état ou réhabilitation) et la postfermeture du site et du barrage de stériles miniers.
Conséquences (voir Danger)	Les résultats ou l'impact d'un événement. Les conséquences peuvent toucher les facteurs humains, environnementaux, économiques ou culturels d'une communauté.
Rupture de barrage	Événement ayant pour résultat la fuite de stériles miniers et/ou de l'eau retenue par un barrage de stériles miniers.
Incident de barrage	Événement imprévu qui se produit à un barrage de stériles miniers et qui représente une menace pour la sécurité du barrage ou pour l'environnement, et qui exige une intervention rapide afin d'éviter une possible rupture du barrage.
Démantèlement	Fermeture de l'exploitation et démantèlement des structures non désirées comme des infrastructures, des édifices, des canalisations, etc.

12. TERMINOLOGY

12.1. GENERAL

The terminology used in this bulletin is defined in the following section of this chapter. This will assist the reader in gaining a full understanding and appreciation of the Bulletin.

12.2. GLOSSARY

Term	Meaning/Definition
Acid mine drainage (AMD) or Acid rock drainage (ARD)	Acidic drainage/seepage stemming from open pit, underground mining operations, waste rock or tailings facilities that contains sulphuric acid and dissolved metals resulting from the oxidation of contained sulphide minerals.
After care	The last phase of closure is required to verify that the measures taken are performing according to design and expectations. When verified, the long term monitoring phase starts.
Clarification pond, Return water dam or Clearwater dam	An impoundment separate from the tailings impoundment, used for a second clarification step and/or an extended storage of process water.
Closure	The shutting down and decommissioning of a mine and tailings dams when production has ceased including the transition of the mining area and dam into long-term stable structures. Normally closure includes decommissioning, remediation (reclamation or rehabilitation) and after care at the site and the tailings dam.
Consequence (refer to Hazard)	The outcome or impact of an event. Consequences affect human, environmental, economical or cultural aspects of a community.
Dam failure	An event resulting in the escape of tailings tailings and/or water from the tailings dam.
Dam incident	An unexpected event that occurs to a tailings dam that poses a threat to dam safety or the environment and requires rapid response to avoid a likely dam failure.
Decommission	Closing down of operations and removal of unwanted structures, such as infrastructure, buildings, pipelines services etc.

Terme	Signification/Définition
Environnement	Composants physiques, chimiques, biologiques, sociaux, spirituels et culturels interreliés qui déterminent la croissance et le développement des organismes vivants.
Érosion	Décollement et ablation consécutive de sols ou de stériles miniers sous l'effet du vent, de la pluie, des vagues, du gel, du dégel et d'autres processus.
Revanche (réelle)	Distance verticale entre le niveau actuel du bassin et la crête du barrage mesurée au point le plus bas.
Revanche (de conception)	Distance verticale entre le niveau normal d'exploitation de l'étang surnageant du barrage de stériles miniers et la crête du barrage mesurée sur son périmètre au point le plus bas.
Revanche (plage)	Distance verticale entre le sommet des stériles sur une plage et la crête du barrage.
Danger (voir Conséquence)	Conséquences potentielles d'un accident ou d'une rupture, sans considérer dans quelle mesure il est probable que cet événement se produise.
Cote de danger	Classification de la gravité des conséquences (ou du danger) découlant d'un accident ou d'une rupture potentiels.
Gradient hydraulique	Différence de charge hydraulique entre deux points, divisée par la distance entre ces deux points.
Inspection	Examen des conditions actuelles et du comportement des composants d'un parc à résidus miniers.
Possibilité (se rapporte à la probabilité)	Probabilité ou fréquence que quelque chose se produise.
Phase à long terme	Période pour laquelle la fermeture est conçue et qui s'amorce une fois la phase de postfermeture complétée. Exige généralement un suivi en continu.
Suivi	Activité d'inspection, d'enregistrement et d'analyse des paramètres essentielle durant les activités de stockage des stériles ou suivant la fermeture.
Surface de la nappe phréatique	Surface séparant la zone de sol saturé et la zone du sol partiellement aéré; surface de la nappe libre où la pression est égale à la pression atmosphérique.
Crue maximale probable (en anglais PMF)	Crue résultant des plus importantes précipitations et/ou fonte des neiges considérées comme étant raisonnablement possibles à un point géographique donné. Paramètre particulier à un site, déterminé à partir des valeurs maximales des gammes possibles pour les conditions météorologiques et hydrologiques. Les variables comprennent la durée, la superficie de réception et la période de l'année.

Term	Meaning/Definition
Environment	Interrelated physical, chemical, biological, social, spiritual and cultural components that affect the growth and development of living organisms.
Erosion	Detachment and subsequent removal of soils or tailings by wind, rain, wave action, freezing, thawing and other processes.
Freeboard (actual)	The vertical height from the current pond level to the crest of the dam at its lowest point.
Freeboard (design)	The vertical height from the normal operating level of the tailings dam supernatant pool, to the crest of the dam at its lowest elevation on the dam perimeter.
Freeboard (beach)	The vertical height from the top of the tailings on a beach, to the crest of the dam.
Hazard (refer consequence)	The potential consequence of an accident or failure event, without consideration of the probability of that event occurring.
Hazard Rating	A ranking of the severity of the consequences (or hazards) arising from a potential accident or failure.
Hydraulic gradient	Difference in hydraulic head between two points divided by the travel distance between the points.
Inspection	Examination of the current condition and behaviour of TSF components
Likelihood (refer probability)	The probability or frequency of something occurring.
Long term phase	The period of time for which closure is designed and that commences after completion of the after care phase. Usually requires ongoing monitoring.
Monitoring	The action of inspection, recording and analysing the key parameters for tailings disposal operations or following closure.
Phreatic surface	The surface between the zone of full soil saturation and the zone of partial soil aeration; that surface of the unconfined ground water at which the pressure is equal to that of the atmosphere.
Probable Maximum Flood (PMF)	Stormwater flow resulting from the most severe precipitation and/or snowmelt event considered reasonably possible at a particular geographic location. A site-specific determination, based on the maximae of the possible range in meteorological and hydrological conditions. Variables include the duration, the catchment area and the time of the year.

Terme	Signification/Définition
Restauration	Mesures requises pour garantir la stabilité à long terme et la sécurité environnementale des structures comme les barrages de stériles miniers et les territoires perturbés. Elle comprend souvent des mesures pour encapsuler les stériles afin de limiter le risque que des matières toxiques soient émises dans l'environnement.
Réhabilitation	Restauration des territoires perturbés par les activités minières pour leur redonner leur affectation antérieure ou une autre affectation déterminée.
Remise en état	Transformation de territoires gravement perturbés en territoires pouvant être utilisés, pouvant avoir une destination autre que leur utilisation antérieure. Elle comprend les aspects de terrassement, de profilage et de végétation.
Risque	Combinaison ou produit de la probabilité qu'un événement se produise et des conséquences de celui-ci.
Point d'infiltration	Point où le gradient hydraulique traverse le talus aval.
Surveillance	Activités liées aux inspections détaillées des parcs à résidus miniers/à la prise de mesures et à l'enregistrement des résultats.
Stériles miniers	Résidus à grains fins produits une fois extraits les métaux et les minéraux d'intérêt économique. Ce matériau est rejeté après le traitement final, et la dimension des particules varie généralement de 10 µm à 1,0 mm.
Plages de résidus	Zone des résidus s'étendant de la berge de l'étang jusqu'à l'extrémité des résidus exposés, où ils rejoignent le talus du barrage.
Barrages de stériles miniers (Remblai de stériles miniers ou Barrage d'élimination des stériles)	Remblai, digue ou autre structure de retenue, conçu pour permettre aux stériles miniers de se déposer et pour retenir les stériles et les eaux de procédé, construit de manière contrôlée
Aire de stockage des résidus miniers	Espace/Volume stocké créé par un ou plusieurs barrages de stériles miniers où les stériles sont déposés et stockés. L'aire est délimitée par le périmètre des barrages et/ou elle s'étend jusqu'à des limites naturelles.
Installations de gestion des résidus miniers	Ensemble des structures requises pour la gestion des résidus miniers. Commencent là où les résidus quittent l'usine et se terminent à l'endroit de leur décantation définitive. Comprennent les parcs à résidus miniers, les bassins de décantation les évacuateurs de crue, les bassins de clarification, les canalisations d'aménée, etc.
Étang de décantation des stériles ou étang surnageant	Eau libre contenue dans le parc à résidus.

Term	Meaning/Definition
Remediation	Measures required to secure the long-term stability and to ensure environmental safety of structures such as tailings dams and disturbed ground. Often includes measures to encapsulate the tailings in order to restrict the potential for toxic materials entering the wider environment.
Rehabilitation	Restoration of land affected by mining activities to its original land use or an agreed land use.
Reclamation	Conversion of severely damaged land into useful land use, not necessarily to its original use. The physical aspects of earth moving, regrading and revegetation.
Risk	The combination or product of the Probability of an event occurring and the consequences of that event.
Seepage point	The point where the hydraulic gradient exits the downstream slope.
Surveillance	Activities relating to detailed inspections/measurements and records of the TSF.
Tailings	The fine-grained waste material remaining after the economically recoverable metals and minerals have been extracted. The material is rejected at the “tail end” of the process with a particle size normally ranging from 10 µm to 1.0 mm.
Tailings beach	The area of tailings between the edge of the water pond and the edge of the exposed tailings where they meet the slope of the dam.
Tailings dam (Tailings embankment or Tailings Disposal Dam)	An embankment, dam wall or other impounding structure, designed to enable the tailings to settle and to retain tailings and process water, constructed in a controlled manner.
Tailings impoundment	The storage space/volume created by the tailings dam/dams where tailings is deposited and stored. The extent of the impoundment is to the bounds of the tailings dams and/or natural boundaries.
Tailings management facility (TMF)	The whole set of structures required for the handling of tailings. Starting at the point where the tailings leave the plant to the point for final settling, including TSF, decants, spillways, clarification ponds, delivery pipelines etc.
Tailings pond or supernatant pond	The free water contained within the tailings impoundment.

Terme	Signification/Définition
Sable de stériles	Sable prélevé à partir des stériles complets pour construire le barrage de stériles. Il est souvent produit par ségrégation naturelle sur la plage ou par cyclonage des stériles complets.
Schlamms	Portion fine des stériles miniers complets. La taille maximale des particules de schlamms varie généralement de 75 µm à la taille des argiles.
Boue de stériles miniers	Suspension composée de liquides (eau) et de solides (stériles miniers).
Parc à résidus miniers	Installations destinées à contenir les stériles miniers, comprenant le barrage de stériles miniers (bassin d'accumulation et étang), les structures de décantation et les évacuateurs. Un parc à résidus miniers peut également inclure des carrières à ciel ouvert, de stockages à sec, de lacs ou des remblayages souterrains.
Altération	Processus par lequel les particules, roches et minéraux sont transformés au contact d'agents, notamment les transformations imputables aux agents atmosphériques comme l'air, l'eau et l'activité biologique.

12.3. DOCUMENTS DÉFINISSANT LES TERMES LIÉS À L'OBJET DU PRÉSENT BULLETIN

La plupart des définitions données dans le présent document ne sont pas directement extraites d'un autre document; il s'agit plutôt de reformulations de divers documents et/ou ces définitions sont influencées par le Comité des Barrages et Dépôts de Stériles de la CIGB. De nombreuses définitions représentent des citations de l'un ou de plusieurs des documents suivants :

AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL (ANZMEC) AND MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (MCA) (2000). *Strategic Framework for Mine Closure*. National Library of Australia Catalogue Data.

EUROPEAN COMMISSION (2004). *Draft Reference Document on Best Available Techniques for management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities (BAT)* European IPPC Bureau July 2004 (December 2004).

CIGB (1989). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Sécurité des barrages de stériles - Recommandations*. Bulletin 74. Publié par la Commission Internationale des Grands Barrages. Imprimerie de Montligeon, 61400 La Chapelle Montligeon.

CIGB (1996). COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*. Bulletin 106. Publié par la Commission Internationale des Grands Barrages, en collaboration avec le PNUE, le Programme des Nations Unies pour l'environnement. Imprimerie Louis-Jean 05003 Gap, France (July 2004).

Term	Meaning/Definition
Tailings sand	The sand obtained from the total tailings for use in construction of the tailings dam. Often produced by natural segregation on the beach or by cycloning the total tailings.
Tailings slimes	The fine portion of the total tailings. Slimes generally range from a maximum particle size of about 75 µm to clay size.
Tailings slurry	A fluid suspension comprising liquids (water) and solids (tailings).
Tailings storage facility (TSF)	A facility used to contain tailings including the tailings dam (impoundment and pond), decant structures and spillways. A TSF can also constitute open pits, dry stacking, lakes or underground storages.
Weathering	Processes by which particles, rocks and minerals, are altered on exposure, including changes due to and atmospheric agents such as air, water and biological activity.

12.3. DOCUMENTS DEFINING TERMS RELATED TO THE SUBJECT OF THIS BULLETIN

Most definitions given here are not directly taken from another document, but reworked from several documents and/or influenced by the ICOLD Committee on Tailings Dams and Waste Lagoons. Many definitions above have been quoted from one or several of the following documents:

AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL (ANZMEC) AND MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (MCA) (2000). *Strategic Framework for Mine Closure*. National Library of Australia Catalogue Data.

EUROPEAN COMMISSION (2004). *Draft Reference Document on Best Available Techniques for management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities (BAT)* European IPPC Bureau July 2004 (December 2004).

ICOLD (1989). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Tailings Dam Safety – Guidelines*. Bulletin 74. Published by International Commission on Large Dams. Imprimerie de Montligeon, 61400 La Chapelle Montligeon.

ICOLD (1996). INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, Construction, Use and Rehabilitation*. Bulletin 106. Published by International Commission on Large Dams together with UNEP, United Nations Environmental Program. Imprimerie Louis-jean 05003 Gap, France. (July 2004).

- MINISTERIAL COUNCIL ON MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES AND MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*. National Capital Printing.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, QUÉBEC (1997). *Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec*. Les Publications du Québec, Québec, Canada.
- MMSD (2002). INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT IN THE PROJECT MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Research on Mine Closure Policy Cochilco*, Chilean Copper Commission for IIED. (September 2004)
- REHBINDER G., GUSTAFSSON G. ET THUNVIK R. (1995). *Grundvattenströmningens teori*. Royal Institute of Technology, Stockholm and Chalmers University of Technology, Gothenburg. KTH, Ts- Tryck & Kopiering, Stockholm 1995. (In Swedish)
- UNEP (PNUE) ET ICME (1998). PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT ET LE INTERNATIONAL COUNCIL ON METALS AND THE ENVIRONMENT (ICME) connu aujourd'hui comme le CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX (ICMM EN ANGLAIS). *Case studies on Tailings Management*.
- VICK S.G. (1990). *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*. Vancouver, Canada: BiTech Publishers Ltd.
- WMI (1994). *Final report by Whitehorse Mining Initiative Environment Issues Group* October 1994.

- MINISTERIAL COUNCIL ON MINERAL AND PETROLEUM RESOURCES AND MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA (2003). *Strategic Framework for Tailings Management*. National Capital Printing
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, QUEBEC (1997). *Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec*. Les Publications du Québec, Québec.
- MMSD (2002). INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT IN THE PROJECT MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Research on Mine Closure Policy Cochilco*, Chilean Copper Commission for IIED. (September 2004)
- REHBINDER G., GUSTAFSSON G. ET THUNVIK R. (1995). *Grundvattenströmnings teori*. Royal Institute of Technology, Stockholm and Chalmers University of Technology, Gothenburg. KTH, Ts- Tryck & Kopiering, Stockholm 1995. (In Swedish)
- UNEP AND ICME (1998). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) AND THE INTERNATIONAL COUNCIL ON METALS AND THE ENVIRONMENT (ICME), NOW INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS (ICMM). *Case studies on Tailings Management*.
- VICK S.G. (1990). *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*. Vancouver, Canada: BiTech Publishers Ltd.
- WMI (1994). *Final report* by Whitehorse Mining Initiative Environment Issues Group October 1994.

Imprimerie de Montlignon
61400 St Hilaire le Châtel
Dépôt légal : Juin 2011
N° 25720
ISSN 0534-8293



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