

# SUSTAINABLE DESIGN AND POST-CLOSURE PERFORMANCE OF TAILINGS DAMS

---

## CONCEPTION DURABLE ET PERFORMANCES APRES FERMETURE DES BARRAGES DE STÉRILES

---

**Bulletin 153**



**2013**

Cover/Couverture :

Cover illustration: Typical-closed Tailings Facility /

*Illustration en couverture : Un exemple typique d'un barrage de stériles après fermeture*

### **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 Harvey McLeod (Canada)  
Layout by Nathalie Schauner

*Texte original en anglais  
Traduction en français par Harvey McLeod (Canada)  
Mise en page par Nathalie Schauner*

# **SUSTAINABLE DESIGN AND POST-CLOSURE PERFORMANCE OF TAILINGS DAMS**

---

# **CONCEPTION DURABLE ET PERFORMANCES APRÈS FERMETURE DES BARRAGES DE STÉRILES**

---

---

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](mailto:secretaire.general@icold-cigb.org)  
Site : [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)

---

COMMITTEE ON TAILINGS DAMS  
COMITÉ SUR LES BARRAGES DE STÉRILES

*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         |
| India/Inde                 | V.K. GUPTA      |
| Iran                       | M. ASKARI       |
| Poland/Pologne             | W. WOLSKI       |
| Romania/Roumanie           | E. LUCA         |
| Russia/Russie              | A. GALPERIN     |
| Spain/Espagne              | J.L. JUSTO      |
| Sweden/Suède               | A. BJELKEVIK    |
| United Kingdom/Royaume-Uni | M. CAMBRIDGE    |
| United States/États-Unis   | J.L.M. CLEMENTE |

---

## SOMMAIRE

---

1. INTRODUCTION
2. PRINCIPES DE FERMETURE DURABLE
3. ASPECTS DE LA CONCEPTION DURABLE
4. SURVEILLANCE À LONG TERME
5. RÉFÉRENCES
6. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

---

## CONTENTS

---

1. INTRODUCTION
2. SUSTAINABLE CLOSURE PRINCIPLES
3. SUSTAINABLE DESIGN CONSIDERATIONS
4. LONG TERM MONITORING
5. REFERENCES
6. FURTHER READING

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION .....  | 14 |
| 1.1. Généralité .....  | 14 |
| 1.2. Définitions.....  | 16 |
| 2. PRINCIPES DE FERMETURE DURABLE .....  | 20 |
| 2.1. Principes généraux .....  | 20 |
| 2.2. Principes particuliers.....   | 20 |
| 2.3. Pratiques au niveau international .....   | 22 |
| 2.4. Objectifs de fermeture.....   | 30 |
| 2.5. Étapes de la fermeture .....  | 32 |
| 2.6. Approches adoptées pour les anciens barrages de stériles<br>et pour les nouveaux..... | 36 |
| 2.7. L'influence des méthodes de construction et de dépôt .....                            | 36 |
| 2.8. Principes financiers .....  | 40 |
| 2.9. Réglementation .....  | 42 |
| 2.10. Principes de gestion des risques .....   | 44 |
| 2.11. Classification des barrages en vue de leur fermeture .....                           | 46 |
| 3. ASPECTS DE LA CONCEPTION DURABLE.....   | 52 |
| 3.1. Généralités.....  | 52 |
| 3.2. Stabilité physique .....  | 54 |
| 3.2.1. Stabilité du barrage de stériles.....   | 54 |
| 3.2.2. Stabilité hydraulique .....   | 60 |
| 3.2.3. Risques géologiques et autres .....   | 66 |
| 3.3. Stabilité chimique.....   | 68 |
| 3.4. Stabilité écologique.....   | 72 |
| 3.5. Stabilité sociale.....  | 74 |
| 4. SURVEILLANCE À LONG TERME.....  | 78 |
| 4.1. Après-fermeture.....  | 78 |
| 4.2. Long terme.....   | 78 |
| 4.3. Plans d'urgence.....  | 80 |
| 5. RÉFÉRENCES .....  | 82 |
| 6. LECTURES COMPLÉMENTAIRES .....  | 84 |

---

---

# TABLE OF CONTENTS

---

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION .....  | 15 |
| 1.1. General.....  | 15 |
| 1.2. Definitions.....  | 17 |
| 2. SUSTAINABLE CLOSURE PRINCIPLES.....                           | 21 |
| 2.1. General principles.....                                     | 21 |
| 2.2. Specific principles.....                                    | 21 |
| 2.3. International practice .....                                | 23 |
| 2.4. Closure objectives .....                                    | 31 |
| 2.5. Closure design Life .....                                   | 33 |
| 2.6. Approach for existing compared<br>to new tailings dams..... | 37 |
| 2.7. The influence of construction and deposition methods.....   | 37 |
| 2.8. Financial principles .....                                  | 41 |
| 2.9. Regulations .....   | 43 |
| 2.10. Risk management principles .....                           | 45 |
| 2.11. Dam classification for closure .....                       | 47 |
| 3. SUSTAINABLE DESIGN CONSIDERATIONS.....                        | 53 |
| 3.1. General.....  | 53 |
| 3.2. Physical stability .....                                    | 55 |
| 3.2.1. Tailings dam stability.....                               | 55 |
| 3.2.2. Hydraulic stability.....                                  | 61 |
| 3.2.3. Geo and other hazards .....                               | 67 |
| 3.3. Chemical stability.....                                     | 69 |
| 3.4. Ecological stability .....                                  | 73 |
| 3.5. Social stability.....                                       | 75 |
| 4. LONG TERM MONITORING.....                                     | 79 |
| 4.1. Post closure .....  | 79 |
| 4.2. Long term.....  | 79 |
| 4.3. Emergency plans .....                                       | 81 |
| 5. REFERENCES .....  | 82 |
| 6. FURTHER READING.....  | 84 |

---

---

## TABLEAUX /FIGURES

---

### TABLEAUX

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tableau 1 | Exemple de classification des barrages.....   | 48 |
| Tableau 2 | Exemple de classification des dépôts de stériles,<br>selon la réglementation espagnole, en quatre classes<br>et quatre catégories ..... | 50 |

### FIGURES

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| Fig. 1 | Tableau d'analyse des risques..... | 44 |
|--------|------------------------------------|----|

---

## TABLES / FIGURES

---

### TABLE

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Table 1 | Example of Dam Classification .....  | 49 |
| Table 2 | Example of classification of tailings deposits,<br>according to Spanish legislation into four classes<br>and four categories ..... | 51 |

### FIGURES

|        |                                 |    |
|--------|---------------------------------|----|
| Fig. 1 | Typical Risk Review Chart ..... | 45 |
|--------|---------------------------------|----|

---

## AVANT-PROPOS

---

Dans le monde entier, la durabilité des projets de développement est de plus en plus à l'ordre du jour. Cette nouvelle priorité est née d'expériences passées relativement négatives liées à des projets développés sans que leurs impacts sur les générations futures aient peut-être été suffisamment pris en considération.

Le rapport de la Commission mondiale des barrages (CMB ou WCD) intitulé « Dams and Development: a New Framework for Decision-Making », publié en 2000, a fait ressortir le besoin de concevoir les barrages avec prudence, en visant le long terme et en adoptant sept priorités stratégiques lors de la planification et de la construction de ces ouvrages. La Commission internationale des grands barrages (CIGB) a adopté les principes énoncés dans ce rapport.

Même si le rapport de la CMB porte exclusivement sur les barrages conçus pour les retenues d'eau, les concepts et principes exposés s'appliquent identiquement aux barrages de stériles dans les secteurs des mines et de l'industrie.

La CIGB a mis sur pied 28 comités techniques constitués de spécialistes qui apportent leur expertise sur de nombreux aspects du développement des barrages. Le Comité L est le comité de la CIGB chargé des barrages de stériles.

On compte aujourd'hui de nombreux ouvrages de retenue de stériles dont la hauteur excède 100 m, voire même 150 m, et dont la surface dépasse les 100 km<sup>2</sup>, ce qui justifie la décision prise en 1989 par la CIGB d'inclure ce type de barrage dans sa définition de « grand barrage ».

De nombreux paramètres de conception et critères de sécurité qui s'appliquent aux barrages de retenue d'eau restent pertinents pour les barrages de stériles. Une grande partie des membres des comités techniques de la CIGB ont d'ailleurs participé à la conception de barrages des deux types.

Le Comité de la CIGB sur les barrages de stériles a vu passer les quatre présidents suivants au cours de ses 35 années d'existence, tous reconnus pour leur expertise en matière de conception et d'exploitation des barrages de stériles :

C.M. Dagenais – Canada

G.H.Legge – Afrique du Sud

Dr. A.D.Penman – Royaume-Uni

J.R.Williamson – Afrique du Sud (en poste, jusqu'en 2011)

Depuis 1989, le Comité a publié pas moins de onze bulletins techniques sur les barrages de stériles, dont une bibliographie sur le sujet.

Le bulletin le plus récent, publié en 2011 et intitulé « Increasing Tailings Dam Safety » (Pour une sécurité accrue des barrages de stériles) a été préparé en réponse au nombre trop élevé de ruptures de ce type d'ouvrages.

Le présent bulletin – Conception durable et performances après-fermeture des barrages de stériles – a de même été publié pour tenter de répondre aux besoins

---

# FOREWORD

---

There is an increasingly intense focus throughout the world on long term sustainability of projects. This has developed through the somewhat negative experiences of the past where developments have taken place perhaps without due consideration of the impact they may have on future generations.

The World Commission on Dams (WCD), in its 2000 publication “Dams and Development: a New Framework for Decision-Making” highlighted the need for careful and long term consideration for dam development by way of seven strategic priorities to be adopted in the planning and implementation process for dams. The International Commission on Large Dams, ICOLD, has adopted the principles of the WCD report.

While it is true that the WCD report is focused exclusively on the subject of water storage dams, the same concepts and principles apply equally to tailings dams in the mining and industrial sectors.

ICOLD has established 28 specialist technical committees, each providing international expertise on the many aspects of dam development. Committee L is the ICOLD committee on tailings dams.

There are today many tailings dams with heights in excess of 100 and even 150 metres, and surface areas in excess of 100 square km., highlighting ICOLDs decision in 1989 to include tailings dams within their definition of “Large Dams”.

Many of the design parameters and safety criteria applying to water storage dams apply equally to tailings dams, and many of the members of ICOLD technical committees have been involved in the design of both water and tailings dams.

The ICOLD Tailings Dam Committee has had four Chairmen in its 35 years of existence, all recognised for their specialist ability in tailings dam design and operation, namely:

C.M. Dagenais – Canada

G.H.Legge – South Africa

Dr. A.D.Penman – U.K.

J.R.Williamson – South Africa (current, to 2011)

The Committee has published no fewer than eleven technical bulletins on tailings dams, since 1989, including a tailings dam Bibliography.

The most recent Bulletin, published in 2011, “Increasing Tailings Dam Safety” was prepared in response to the unacceptably high incidence of tailings dam failures.

This current bulletin: “Sustainable Design and Post Closure Performance of Tailings Dams”, is similarly published in response to the global need for increased

éprouvés par de nombreux pays de se concentrer sur cet aspect important du développement qui n'a peut-être pas été complètement compris ou bien pris en compte dans le passé.

Je voudrais remercier très sincèrement tous les membres du Comité sur les barrages de stériles pour leur enthousiasme et leur dévouement qui ont permis de préparer et publier ce bulletin.

JRG WILLIAMSON  
Président,  
Comité sur les Barrages de Stériles Miniers

focus on this important development aspect, possibly not fully understood or adequately taken into account in the past.

My thanks to the efforts of the Tailings dam Committee for their enthusiastic and dedicated efforts in bringing this Bulletin to fruition.

JRG WILLIAMSON  
Chairman,  
Committee on Tailings Dams

---

## RÉSUMÉ

---

Ce bulletin de la CIGB est destiné aux concepteurs de barrages de stériles désireux d'appliquer les critères du développement durable qui, selon la définition proposée dans le rapport Brundtland (CMED de l'ONU, 1987) et adoptée par le Conseil International des Mines et Métaux (ICMM) :

*« est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».*

Les investissements engagés dans le cadre d'un tel développement doivent donc être profitables sur le plan financier, appropriés sur le plan technique, respectueux de l'environnement et responsable au niveau social (ICMM, 2008).

Le présent document offre des directives aux concepteurs, aux propriétaires, aux exploitants et aux organismes de réglementation des barrages de stériles concernant chacun des stades de la conception de ces ouvrages en vue de leur fermeture ultérieure.

Ce bulletin comprend trois sections principales couvrant les sujets suivants :

*Principes de fermeture durable* : pratiques, réglementations, objectifs, durée de vie théorique, phases de conception et gestion des risques adoptés dans divers pays pour la fermeture des sites.

*Principes de conception durable* : principaux aspects de la stabilité physique, chimique, hydrologique, hydrogéologique, écologique et sociale des barrages de stériles dans le cadre de leur fermeture.

*Surveillance* : exigences de surveillance à long terme des sites fermés.

Il a été tenu compte des commentaires formulés par les représentants de chaque pays figurant sur la liste donnée en page ii du présent document. Ce rapport présente donc toute une gamme d'approches mises en œuvre par différents pays pour la fermeture durable des barrages de stériles.

---

## SUMMARY

---

This ICOLD Bulletin is presented for tailings dam designers intending to achieve sustainable development, which is defined by the Bruntland Report (UNWCED, 1987) and adopted by the International Council on Mining and Metals (ICMM) as being:

*“development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.*

This means that project investments should be financially profitable, technically appropriate, environmentally sound and socially responsible (ICMM, 2008).

This document provides guidance for the designers, owners, operators and regulators of tailing dams on closure considerations for design at all stages of the tailings dam.

The bulletin contains three main sections with a discussion on the following topics:

*Sustainable Closure Principles*, covering current international practice, regulations, objectives, design life and phases, financial and risk management practices as they relate to closure.

*Sustainable Design Considerations*, covering the main aspects of physical, chemical, ecological and social stability associated with tailing dam closure.

*Monitoring*, covering post closure and long term monitoring requirements.

The text has received input from a spread of countries as represented by the individual committee members listed on page ii of this document. The document thus presents a range of international approaches to the subject of sustainable tailings dam closure.

---

# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1. GÉNÉRALITÉ

Ce bulletin de la CIGB est destiné aux concepteurs de barrages de stériles qui désirent opérer conformément aux critères du développement durable qui, selon la définition proposée dans le rapport Brundtland (CMED de l'ONU, 1987) et adoptée par le Conseil International des Mines et Métaux (ICMM) :

« est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

On admet généralement que les barrages de stériles peuvent avoir un impact important sur l'environnement, la santé publique, les communautés locales et d'autres parties potentiellement affectées ainsi que sur la stabilité économique de la mine concernée. Des progrès importants réalisés au cours des trente dernières années en matière de conception et d'exploitation des barrages de stériles ont néanmoins permis de rendre ces ouvrages plus sûrs et de minimiser leur impact sur l'environnement, aussi bien durant leur exploitation qu'après leur fermeture. La stabilité des barrages de stériles, dans le respect des principes établis de développement durable, est un aspect essentiel de l'adhésion sociale à un projet de développement, d'exploitation et de fermeture d'une mine et de ses infrastructures, notamment ses barrages de stériles (également appelés installations d'entreposage des résidus).

Un barrage de stériles, qui comprend un remblai d'endiguement et une retenue (voir la Section 1.2 pour une définition des termes) dont la stabilité environnementale et structurelle à long terme a été assurée (et qui satisfont ainsi aux exigences en matière de résistance et de durabilité), doit faire l'objet d'une attention particulière concrétisée par de fréquents examens durant les phases de planification, de conception, d'exploitation et de fermeture, soit sur toute la durée de vie de l'ouvrage.

Dans le rapport publié par l'Institut international du développement durable (IISD, 2002), la question de la durabilité est abordée sous la forme de sept questions. Ces questions sont reproduites ci-dessous afin de définir le contexte du terme « durabilité » dans le cas d'un projet industriel ou minier, incluant notamment des barrages de stériles.

1. Participation : Les processus facilitant la participation (de toutes les communautés affectées par le projet) sont-ils en place et prêts à fonctionner efficacement ?
2. Les populations : Le bien-être des résidents sera-t-il maintenu ou amélioré durant et après le projet ou l'exploitation du site ?
3. Environnement : Va-t-on assurer l'intégrité de l'environnement sur le long terme ?

---

# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1. GENERAL

This ICOLD Bulletin is presented for tailings dam designers intending to achieve sustainable development, which is defined by the Bruntland Report (UNWCED, 1987) and adopted by the International Council on Mining and Metals (ICMM):

« development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs ».

It is generally recognized and accepted that tailings dams have the potential to impact significantly on the environment, public health, the local community and other potentially affected parties as well as a mine's economic stability. However, over the last 30 years significant improvements have been made in the design and operation of tailings dams with the objective of increasing safety and minimizing the impact on the environment, both during operation and after closure. Therefore, enduring value, encompassing established sustainable development principles, is key to the social licence to develop, operate and close a mine and its associated infrastructure, including its tailings dams (also referred to as tailings storage facilities, TSF).

A tailings dam, comprising the dam and the impoundment (see other definitions in Section 1.2) with assured long term environmental and structural stability, (thus meeting the requirements of enduring value and sustainability), requires specific and detailed consideration over time with frequent review during the planning, design, operation, closure and post-closure phases of its long term existence.

In the report by the International Institute for Sustainable Development (IISD, 2002), the sustainability issue is addressed in the form of seven questions. These are repeated below in an endeavour to establish the context of the term “sustainability” for an industrial or mining project, including associated tailings dams.

1. Engagement: Are engagement processes (with all affected communities of interest in place and working effectively?
2. People: Will people's wellbeing be maintained or improved during and after the project or operation?
3. Environnement: Will the integrity of the environment be taken care of in the long term?

4. Économie : La viabilité économique de l'entreprise est-elle assurée ? La situation économique de la communauté et de la région se trouve-t-elle renforcée par le projet, non seulement durant l'exploitation du site, mais aussi après sa fermeture ?
5. Activités traditionnelles et non commerciales : La viabilité des activités traditionnelles et non commerciales dans la communauté et la région autour du site est-elle maintenue ou renforcée avec le projet ou l'exploitation du site ?
6. Dispositions et gouvernance institutionnelles : Des règles, des capacités et des incitatifs sont-ils en place pour faire face aux conséquences du projet ou de l'exploitation du site, maintenant et aussi longtemps qu'il faudra dans l'avenir ?
7. Synthèse et surveillance continue : Une synthèse a-t-elle permis de montrer que le projet était globalement positif ou négatif pour le public et les écosystèmes? Un système est-il en place pour répéter périodiquement cette évaluation?

Ce bulletin de la CIGB permet de définir les exigences et les objectifs associés à la fermeture durable d'un barrage de stériles grâce à la mise en œuvre d'une bonne intendance et de solutions efficaces en termes de coûts.

## 1.2. DÉFINITIONS

*Barrages de stériles* : dans ce bulletin, ce terme correspond aux murs du barrage, aux remblais, aux ouvrages annexes et à la retenue, et est synonyme d'« installation d'entreposage des résidus », d'« installation de gestion des résidus », etc.

*Développement durable* : le concept général d'un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Le développement durable n'est pas un état d'harmonie figé mais plutôt un processus évolutif grâce auquel l'exploitation des ressources, les investissements, le développement technologique et l'évolution des institutions se font conformément aux besoins futurs et présents. La durabilité relève principalement des questions écologiques mais elle inclut aujourd'hui les facteurs économiques et sociaux du développement qui deviennent également importants (Brundtland, 1987).

*Conception durable* : la conception d'un ouvrage qui prend en compte les exigences de durabilité en reconnaissant les conséquences et les besoins présents et futurs.

*Durer* : tenir, soutenir, maintenir, continuer, prolonger, préserver, endurer, résister à la dégradation, résister.

*Fermeture* : la fin planifiée de l'entreposage des résidus dans le barrage de stériles et la modification ou reconfiguration de celui-ci dans l'objectif d'assurer sa stabilité physique, chimique, écologique et sociale à long terme ainsi qu'une utilisation durable et écologiquement appropriée du site après sa fermeture.

4. Economy: Is the economic viability of the company assured; is the community and regional economy better off, not only during operation but into post-closure?
5. Traditional and Non-Market Activities: Is the viability of traditional and non market activities in the community and surrounding area maintained or improved with the project or operation?
6. Institutional Arrangements and Governance: Are the rules, incentives and capacities in place now and as long as required to address project or operational consequences?
7. Synthesis and Continuous Learning: Does a synthesis show the project to be net positive or negative for people and ecosystems? Is the system in place to repeat the assessment from time to time?

This ICOLD Bulletin serves to set out the specific requirements and objectives for sustainable closure of a tailings dam through good stewardship and cost effective solutions.

## 1.2. DEFINITIONS

*Tailings dam:* used in this Bulletin to describe the dam walls/embankments, appurtenant facilities and the impoundment, e.g. the same as Tailings Storage Facility (TSF), Tailings Management Facility (TMF), etc.

*Sustainable development:* the broad concept attributed to ensure that development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs. Sustainable development is not a fixed state of harmony, but rather a process of change in which the exploitation of resources, the direction of investments, the orientation of technological development and institutional change are made consistent with both future and present needs. Sustainability is used to focus on primarily ecological issues, but are now including and emphasizing the economic and social context of development. (Brundtland 1987).

*Sustainable design:* a design that ensures that sustainable considerations have been dealt with throughout the design process, i.e. where cognizance has been taken of present and future needs and consequences.

*Sustain:* to hold up, to support, to provide for, to maintain, to keep going, to keep up, to prolong, to preserve, to endure, to continue, to keep from failing or giving way, to withstand.

*Closure:* the planned final cessation of tailings disposal into the tailings dam and the modification/engineering of the tailings dam with the objective of achieving long term physical, chemical, ecological and social stability and a sustainable, environmentally appropriate after-use.

*Fermeture temporaire* : l'interruption du dépôt des résidus dans le barrage de stériles et la mise en œuvre de mesures de stabilisation à court terme pour prévenir toute détérioration des ouvrages avant la reprise du dépôt.

*Fermeture précoce* : cessation du dépôt de résidus dans un barrage de stériles avant la date prévue pour la fermeture du site.

*Fermeture progressive* : modification physique d'un barrage de stériles et réhabilitation progressive de ses surfaces de manière à atteindre les objectifs prévus pour la fermeture durant l'exploitation de la mine.

*Objectifs de fermeture* : les paramètres physiques, chimiques, écologiques et sociaux visés dans le plan de fermeture.

*Après-fermeture* : la période qui suit la cessation des activités sur le barrage de stériles dans sa forme finale. La période suivant la fermeture est généralement divisée en deux : une phase d'entretien actif et une phase d'entretien passif.

*Entretien actif* : Il s'agit des interventions et de l'auscultation actives requises pour l'obtention d'un dépôt final stable et durable grâce à la stabilisation des ouvrages et des éléments environnementaux.

*Entretien passif* : Il s'agit de la surveillance des performances du barrage de stériles après la phase d'entretien actif afin de s'assurer de l'atteinte des objectifs de fermeture. Cette phase n'est pas limitée dans le temps mais peut être définie comme étant d'une durée suffisante pour que le barrage de stériles puisse être considéré par les autorités comme étant stable sur les plans physique, chimique, écologique et social et ne posant plus aucun risque pour le public ou l'environnement.

*Long terme* : qualifie notamment la durée de vie théorique du barrage de stériles fermé.

*Abandon* : état d'un barrage de stériles ne relevant pas de la responsabilité d'un propriétaire et pouvant tomber sous la responsabilité de l'État.

*Délaissement* : transfert planifié des responsabilités à un autre propriétaire.

*Temporary closure:* the cessation of tailings disposal into the tailings dam and the initiation of short-term stabilisation measures to prevent deterioration until re-commencement of deposition occurs.

*Premature closure:* the cessation of tailings disposal into the tailings dam before a planned closure.

*Progressive closure:* the engineering of the tailings dam and the progressive rehabilitation of the surfaces of the tailings dam in order to achieve the planned closure objectives during the life of mine.

*Closure objectives:* the physical, chemical, ecological and social parameters which underwrite the closure plan.

*Post closure:* the period following cessation of operation of the tailings dam into its final form. The post closure period is generally divided into active and passive care periods.

*Active care:* the period when active intervention and monitoring is required to achieve a final sustainable stable form concurrently with stabilization of the structures and environmental elements.

*Passive care:* the period following active care during which the performance of the tailings dam is monitored to ensure its compliance with the closure objectives. This period has no time limit but can be defined as being necessary until the tailings dam, in the opinion of the authorities, is considered to be physically, chemically, ecologically and socially stable and no longer poses a risk to life or to the environment.

*Long term:* the period used to define the design life for the closed tailings dam.

*Abandonment:* the condition when the tailings dam is not under the jurisdiction of mine ownership and may become the responsibility of the State.

*Relinquishment:* the planned handover of responsibility and liability to other ownership.

---

## 2. PRINCIPES DE FERMETURE DURABLE

---

### 2.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Il est généralement admis qu'un barrage de stériles fait partie intégrante du plan de développement de toute mine. La fermeture de tous les ouvrages d'une exploitation minière, notamment du barrage de stériles, doit être prise en considération à toutes les étapes du projet. Les principes généraux décrits ci-dessous caractérisent la durabilité d'un barrage de stériles.

1. Le plan de fermeture doit être conforme aux principes de durabilité et aux objectifs connexes.
2. Le plan de fermeture doit être conforme aux règlements locaux et à toutes les autres lois pertinentes.
3. Si la création d'un barrage de stériles est planifiée, un plan de fermeture de l'ouvrage, basé sur des concepts de durabilité, doit être préparé lors de la phase de lancement du projet.
4. Pour les installations existantes, il faut modifier le plus tôt possible les pratiques d'exploitation de manière à faciliter une fermeture ultérieure durable des ouvrages. Dans le cas des installations inactives ou fermées, la durabilité des sites doit être vérifiée et des mesures doivent au besoin être prises pour améliorer la conformité des ouvrages aux principes et aux objectifs de durabilité.

Dans la plupart des pays développés ou en voie de développement, il existe des exigences strictes régissant l'exploitation et la fermeture des sites d'exploitation minière et en particulier des barrages de stériles qui sont souvent les ouvrages présentant le plus de risques. Les exigences afférentes aux phases d'exploitation et de fermeture diffèrent sur le plan technique mais aussi sur le plan juridique lorsqu'il y a transfert de propriété et modification du mode de financement lors de l'abandon des installations. Les conditions d'exploitation et de conformité sont régies par les exigences associées au permis d'exploitation requis pas l'autorité compétente.

Les questions de durabilité d'un barrage de stériles doivent être discutées en fonction des risques à long terme, après la fermeture de la mine. Le contrôle et la gestion du processus de fermeture doivent être définis à l'étape de la délivrance du permis et être révisés à intervalles réguliers pour s'assurer que ce processus reste approprié et que les coûts associés sont couverts par des garanties financières. Le plan de fermeture devra être approuvé et dans le cas de certaines juridictions, des ententes ayant force obligatoire seront passées au moment de la délivrance du permis.

### 2.2. PRINCIPES PARTICULIERS

Les principes particuliers suivants doivent être respectés pour une conception durable et des performances acceptables après fermeture :

---

## 2. SUSTAINABLE CLOSURE PRINCIPLES

---

### 2.1. GENERAL PRINCIPLES

It is generally accepted that a tailings dam is an integral part of the mine development plan. Closure for all mine facilities, including the tailing dam, should be considered at all project stages. The general principals described below pertain to the sustainability of a tailings dam.

1. The closure design should be in compliance with sustainability principles and associated design objectives.
2. The closure design has to be in compliance with the local laws and all relevant regulations.
3. For new tailing dams sustainable closure design concepts should be developed at the project initiation phase.
4. For existing facilities modifications to operational practices that would facilitate sustainable closure should be initiated as early as practical. For inactive or closed facilities the sustainability of the closure should be verified and measures taken to improve compliance with sustainability principles and objectives.

In most jurisdictions in the developed and developing world, there are now strict requirements governing the operation and closure of mine sites and, in particular, of tailings dams, as these often represent the highest-risk facility on a mine. The requirements for operating and closure phases differ with respect to technical requirements and the legal aspects arising from potential changes in ownership and funding streams at abandonment. Operating and compliance conditions are governed by the mine licensing or permitting requirements as required by the jurisdiction under which the project is operated.

Post-closure sustainability issues for a tailings dam must recognize long term risks after mine closure. Control and management of the closure process should be defined at the permitting stage and revised at regular intervals to ensure that it remains appropriate and that the cost is covered by financial guarantees. The closure plan will be agreed upon, and in some jurisdictions, legally binding agreements will be put in place at the time of issuance of the mine licence.

### 2.2. SPECIFIC PRINCIPLES

The following specific principles apply to the successful achievement of sustainable design and post closure performance:

- Stabilisation à long terme des conditions physiques, chimiques, écologiques et sociales associées au barrage de stériles afin d'en minimiser la dégradation au cours du temps.
- Le plan de fermeture du barrage de stériles doit être durable, conçu à un stade précoce du processus de conception et mis à jour régulièrement.
- Dans le contexte régional, il est nécessaire d'inclure l'impact potentiel sur les propriétés adjacentes.
- Le plan de fermeture doit traiter de l'impact de la cessation des activités sur la santé, la sécurité et l'emploi dans les communautés locales.
- Les attentes et les préoccupations de toutes les parties intéressées ou affectées doivent être prises en compte et discutées dans le plan de fermeture.
- Une évaluation des risques physiques, sociaux et environnementaux doit être effectuée lors de la conception du barrage de stériles.

### **2.3. PRATIQUES AU NIVEAU INTERNATIONAL**

Les pratiques liées à la durabilité des fermetures varient considérablement d'un pays à l'autre et d'une organisation à l'autre.

La Banque Mondiale a défini les étapes à suivre pour fermer un site d'exploitation minière de manière durable (World Bank & IFC, 2002). Elle suggère notamment que la fermeture fasse partie intégrante de la phase de planification et de conception de tout nouveau projet. Il s'agit notamment :

- de définir les coûts et le calendrier correspondant à toutes les composantes du projet,
- de spécifier en détail la forme finale du terrain et les mesures envisagées pour la réhabilitation de la surface,
- d'effectuer une évaluation des risques facilitant la priorisation,
- d'effectuer une analyse coûts-avantages des différentes options,
- de préparer un plan de gestion pour la mise en œuvre de la fermeture,
- de détailler les activités de surveillance prévues après la fermeture,
- de préparer un plan de fermeture à intégrer aux plans d'exploitation annuels de la mine,
- d'évaluer les impacts socio-économiques de la fermeture, notamment au niveau de l'emploi.

Le Conseil International des Mines et Métaux a lui aussi publié une excellente trousse à outils sur le sujet (ICMM, 2008).

L'idée principale est de faire participer toutes les parties intéressées dès le début du projet et d'assurer une prise en compte équilibrée des attentes et des points de vue de tous les participants durant toutes les phases du projet.

Le cadre de travail du processus de planification de la fermeture, tel que défini dans le document de l'ICMM, consiste essentiellement à passer d'une planification conceptuelle de la fermeture à une planification de plus en plus détaillée alors que le projet suit les étapes de développement suivantes :

- Long term stabilization of physical, chemical, ecological and social conditions of the tailings dam to minimize ongoing degradation.
- The tailings dam closure plan must be sustainable and should be conceived at an early stage in the design process and updated regularly.
- The regional context should specifically consider the potential impact on adjacent properties.
- The closure plan should address health, safety and employment impacts on local communities.
- The expectations and concerns of all interested and affected parties must be addressed and incorporated into the closure plan.
- A Risk Assessment to evaluate physical, social and environmental risks should be undertaken when developing the concept design of the tailings dam.

### **2.3. INTERNATIONAL PRACTICE**

International practice regarding sustainable closure varies considerably from country to country and between organisations.

The World Bank has set down steps to be taken for sustainable mine closure (World Bank & IFC, 2002), in which it is proposed that closure planning commences at the planning and design phase of a new operation. This should address the following:

- Costs and time frames for all project components,
- Specific details with regard to expected final landform and surface rehabilitation,
- A risk assessment to assist with prioritization,
- A cost benefit analysis of different options,
- A management plan for the implementation of closure,
- Post closure monitoring details,
- The closure plan to be integrated with annual mine plans,
- Socio-economic and labour impacts to be evaluated.

Similarly, the International Council on Mining and Metals has published an excellent toolkit on the subject (ICMM, 2008).

The key focus is to engage the various interested participants and stakeholders on commencement of the project, and to ensure a balance of the expectations and viewpoints of all participants throughout the stages of the project.

The basic framework of the closure planning process outlined in the ICMM document is to progress from conceptual closure planning to detailed closure planning in increasing detail as the project progresses through the following development stages:

- Exploration,
- Étude de pré faisabilité,
- Étude de faisabilité,
- Conception,
- Construction,
- Exploitation,
- Fermeture,
- Après-fermeture,
- Délaissement.

Le cadre de travail pour une planification conceptuelle et une planification détaillée de la fermeture est ensuite présenté en détail.

Le ministère australien de l'Industrie, du Tourisme et des Ressources a également publié des directives pour la gestion des stériles (ADITR, 2007).

Les principaux points soulignés dans ce rapport sont les suivants :

- Une valeur persistante, répondant aux principes de développement durable, doit sous-tendre le « permis social » d'exercer l'activité.
- La défaillance ou la mauvaise performance d'une installation d'entreposage de stériles peut avoir de sévères conséquences pour la viabilité financière de la compagnie minière.
- Consultation, partage des informations et dialogue avec les parties intéressées sont autant de processus qu'il est indispensable d'instaurer de manière précoce et d'entretenir en continu.
- Le respect de la réglementation gouvernementale sert de référence minimum pour juger des performances.

Le « Minerals Council of Australia » a publié un rapport similaire sur le développement durable (MCA, 2005) qui peut aussi être consulté sur ce sujet.

L'Union européenne, par l'intermédiaire de ses directives concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et l'industrie minière (MWCED, 2006), exige qu'un plan de fermeture durable soit préparé et elle fournit de l'assistance à ce propos. Le document « BREF » (*Document de référence sur les meilleures techniques disponibles - Gestion des résidus et stériles des activités minières*) sur la gestion des stériles qui accompagne la *Directive concernant la gestion des résidus et stériles des activités minières* (European Commission, 2009) offre des informations de base sur les pratiques de fermeture des mines en Europe ainsi que des renseignements généraux sur le secteur de l'extraction minière au sein de l'Union européenne, les techniques et les procédés utilisés dans ce secteur, les niveaux actuels d'émission et de consommation, les techniques à envisager lors de la détermination des MTD (meilleures techniques disponibles) et des informations sur quelques techniques modernes.

En Allemagne, la Fédération allemande pour la gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets (ATV-DVWK) a publié une brochure d'information (ATV-DVWK-M 503, 2001 : *Information de base sur l'auscultation et la remise en état des bassins de décantation*) qui offre les recommandations suivantes :

- Exploration,
- Pre-feasibility,
- Feasibility,
- Design,
- Construction,
- Operation,
- Closure,
- Post closure,
- Relinquishment.

The framework for conceptual closure planning and for detailed closure planning is then presented in detail.

The Australian Department of Industry, Tourism and Resources has also published a tailings management guideline (ADITR, 2007).

The key focus points of this publication are:

- Enduring value, encompassing sustainable development principles, underlies the social license to operate.
- The profound impact that the failure, or poor performance, of a TSF can have on the financial viability of the Company.
- The requirement for early and on-going consultation, information sharing and dialogue with stakeholders.
- Compliance with government regulations establishes a minimum performance platform.

The Minerals Council of Australia has a similar publication on sustainable development (MCA, 2005), which can be referred to for further reading.

The European Union, in its EWD/MWD (Extractive Waste Directive/Mine Waste Directive) legislation (MWCED, 2006) requires a sustainable closure plan to be developed for which some guidance is provided. The BREF (Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities) document on management of tailings developed to accompany the MWD (European Commission, 2009) provides background on European mine closure practice as well as information on the mining sector in the EU in general, techniques and processes used in this sector, current emission and consumption levels, techniques to consider in the determination of BAT (best available techniques) and some emerging techniques.

In Germany, the German Association for Water, Wastewater and Waste (ATV-DVWK) has published an advisory leaflet (ATV-DVWK-M 503, 2001: Basic Information on Investigation and Remediation of Settling Ponds,) with the following recommendations:

Pour préserver à long terme un bassin de décantation dont le contenu n'est ni toxique ni pollué, il est possible d'adopter une stratégie visant à :

- Contrôler de manière fiable tous les écoulements en surface (eaux ruisselantes) à l'aide d'ouvrages ne nécessitant aucun entretien (p. ex. des canaux ouverts, une surverse en cascades sur fondation ferme, pas de conduites d'évacuation enterrées), restreindre les travaux de surveillance et d'entretien aux activités qui auraient été nécessaires pour la gestion des eaux de ruissellement en l'absence de bassin de décantation.
- Réduire l'infiltration directe de l'eau de pluie grâce à l'utilisation d'une végétation ayant un fort besoin en eau.
- Garantir une stabilité adéquate des remblais grâce à l'extraction des eaux d'infiltration à l'aide d'ouvrages ne nécessitant pas d'entretien (éviter notamment la pose de conduites enterrées) même à la suite d'événements météorologiques extrêmes (le cas échéant, même après un séisme).
- Garantir une protection à long terme contre l'érosion superficielle.

Dans le cas des bassins de décantation contenant des constituants solubles toxiques ou nocifs, il est possible d'envisager de réduire encore plus l'infiltration de l'eau, et même, préférablement, de la stopper complètement, de manière à réduire la dispersion de polluants, en recouvrant le site d'une couverture de surface et en installant aussi, le cas échéant, des barrières capillaires sur les talus (comme pour les décharges).

Dans le cas des installations s'étendant sur une grande surface, les travaux de terrassement mettent en œuvre de grandes quantités de remblai. De telles modifications nécessitent évidemment la vidange de l'eau libre qui reste dans le bassin de déversement ainsi que l'assèchement et la consolidation des sédiments très fins présents au fond du bassin de manière à :

- Permettre l'installation des couvertures,
- Assurer la stabilité du bassin, qui peut encore contenir des couches souples de résidus fins,
- Maintenir le tassement de la couverture dans des limites acceptables (note : terrassements, ruissellement des eaux d'infiltration, assèchement continu de la couche de drainage).

En Espagne, la fermeture ainsi que l'entretien et le contrôle ultérieurs des barrages de stériles sont régis par le règlement ITC 08.02.01 (2000). Cette directive concerne spécifiquement la fermeture des barrages de stériles et définit les exigences relatives à l'entretien et à la surveillance. Les projets de fermeture doivent notamment comprendre les mesures suivantes :

1. Stabilisation géotechnique des talus du barrage.
2. Protection des talus contre l'érosion de surface, les inondations et l'altération atmosphérique des matériaux.
3. Mise en place de systèmes de drainage pour éviter l'accumulation non contrôlée des eaux de pluie et des eaux de ruissellement.
4. Drainage visant à abaisser le niveau piézométrique.
5. Canalisation de l'eau en surface et remise en valeur des terrains.

For long term preservation of a settling pond with non-toxic or non-polluted contents one may consider preservation strategies with the following features:

- Reliable control of any surface inflows (flowing waters) using facilities not requiring repairs and maintenance (e.g. open channels, overflow cascades with a safe foundation, no culverts). Any necessary monitoring and maintenance work should be confined to what would have been necessary due to the existence of the flowing water even without the settling pond.
- Reduction of direct rainfall infiltration with the use of water-depleting vegetation.
- Guaranteeing adequate stability by means of safe removal of seepage water using elements not requiring maintenance and repairs (e.g. no drain pipes) even under extreme meteorological conditions (where appropriate with earthquake effects).
- Guaranteeing long term protection against surface erosion.

In the case of a settling pond with toxic or otherwise harmful soluble constituents one could consider, reducing water infiltration even further – and preferably altogether – in order to reduce the pollutant outputs by capping with a surface blanket, and possibly even with capillary barriers on banks (as for landfills).

In the case of facilities covering a large area there is a need for far-reaching geometric modifications involving large amounts of fill material. Moreover, such modifications of course require the total removal of the remaining free water from the discharge pond, dewatering/consolidation of the very fine sediments in the basin, in order to:

- Permit the placement of cover facilities,
- Ensure the stability of the system, which may still contain soft and fine tailings,
- Keep settlement of the cover layer within acceptable limits (note: contouring, runoff behavior of seepage water, permanent dewatering function of drainage layer).

Spain regulates the closure and subsequent maintenance and control of tailings dams by way of Regulation ITC 08.02.01 (2000). This Directive refers specifically to the closure of tailings dams and further maintenance and control requirements. Some of the items to be considered with regard to closure projects are indicated below:

1. Geotechnical stabilization of dam slopes.
2. Protection of slopes against surface erosion, floods and weathering degradation of materials.
3. Drainage systems to avoid the uncontrolled accumulation of rainwater and run-off.
4. Drainage to lower the piezometric level.
5. Canalization of waters and land reclamation.

6. Revêtement et étanchéification de la surface des installations afin d'éviter l'infiltration des eaux de surface, la contamination de la couverture et le soulèvement de poussières.
7. Mise en œuvre de collecteurs et traitement des fuites liquides ou des lixiviats.
8. Mise en œuvre de mesures visant à faire en sorte que l'installation de dépôt de déchets, une fois abandonnée, soit conforme aux règlements en vigueur et aux dispositions de la Loi sur les déchets et des règlements qui en découlent.

Le Royaume-Uni exige que les installations soient modifiées et auscultées jusqu'à ce qu'elles soient considérées comme étant sûres, stables et ne posant plus de risques pour la santé publique ou l'environnement avant leur transfert aux autorités locales.

La Suède a adopté la législation européenne en 2008. La directive suédoise GruvRIDAS (SveMin, 2010), dont l'application est facultative, définit le long terme comme étant une période s'étendant sur plusieurs milliers d'années.

Les discussions et les efforts de recherche en Suède portent actuellement sur les questions suivantes :

- L'effet à long terme de l'érosion interne et des gradients hydrauliques dans les remblais des barrages sur la stabilité de ces ouvrages. Une meilleure connaissance de l'érosion interne et des gradients hydrauliques sur le long terme est un atout majeur lorsque le plan de fermeture prévoit une des trois méthodes suivantes mettant en jeu des gradients élevés : restauration par inondation, aménagement d'un marécage (couverture « humide ») ou mise en place d'une couverture sèche. Les travaux de recherche effectués dans ce domaine comprennent l'étude des formations naturelles qui sont restées stables depuis la dernière époque glaciaire.
- La stabilité à long terme des structures et des matériaux, par exemple le problème des filtres-drains. S'il est impossible de prouver que les drains resteront stables et continueront à fonctionner sur le long terme, le plan de fermeture ne doit pas faire appel à ce type de structures.

Au Canada, l'Association minière du Canada (AMC) gère un programme mis en place en 2002 et baptisé « Vers le développement minier durable » (AMC, 2002). L'AMC s'inspire de la définition du développement durable adoptée par la Commission Brundtland (MWCED Brundtland, 1987).

Aux États-Unis, la plupart des États exigent que la période régissant l'après-fermeture soit indéfinie (« la fermeture ne finit jamais »). Cette précaution fait que le plan de fermeture doit envisager la possibilité d'occurrence de précipitations et de séismes importants.

En Afrique du Sud, la loi concernant les fermetures de site relève de la responsabilité de deux ministères : Le ministère des Affaires hydriques (Department of Water Affairs, ou DWA) et le ministère des Minéraux et de l'Énergie (Department of Minerals and Energy, ou DME). Le DWA a publié un excellent recueil des meilleures pratiques (DWA, 2008) qui met l'accent sur les exigences du *National Water Act* et des divers règlements qui en découlent en matière de fermeture de site. Le DME utilise la réglementation définie dans le *Minerals and Petroleum Resources Development Act* (Loi sur le développement des ressources minérales et pétrolières) (DME, 2002) de l'Afrique du Sud.

6. Sealing and waterproofing of the waste facility surface to avoid the infiltration of surface water, the contamination of the cover and dust uplifting.
7. Collection devices and treatment of leakage or leachate.
8. Measures to ensure that the waste facility, once abandoned, will comply with the provisions of specific legislation and, additionally, with the Waste Act and other regulations that will develop it.

The United Kingdom requires the facility to be designed and monitored until it is safe and stable, and no longer poses a risk to human health or to the environment prior to transfer to the local authorities.

EU legislation has been implemented since 2008 in Sweden. The Swedish guideline *GruvRIDAS* (SveMin, 2010), which is a voluntary industry guideline, defines long term as thousands of years.

Issues currently under discussion and subject for research in Sweden are:

- Long term internal erosion and hydraulic gradients in embankments dams with regard to long term stability. An improved understanding of long term internal erosion and hydraulic gradients is a key factor in cases where closure methods such as water cover, wetland cover or dry cover with high gradients, are used. The research in this field includes investigation of natural formations that have been stable since the last ice-age, e.g. studies of “mother nature”.
- Long term stability of structures and materials, for example the issue of filter drains. If it cannot be proved that the drains will remain stable and function in a long term perspective, the presence of drains should be neglected in the closure design.

In Canada, the Mining Association of Canada has an on-going initiative, started in 2002, “Towards Sustainable Mining” (MAC, 2002). MAC draws on the Brundtland Commission definition of Sustainable Development (MWCED Brundtland, 1987).

Most states in the USA require the post-closure period to be indefinite (“closure is forever”). This drives the closure design towards maximum credible earthquakes and probable maximum precipitation designs.

South African closure legislation falls under two Government departments: The Department of Water Affairs (DWA) and the Department of Minerals and Energy (DME). DWA has published an excellent Best Practice Guideline (DWA, 2008) which highlights the relevant closure requirements of the *National Water Act* and its various regulations. DME uses the legislation and regulations set out in the *South Africa’s Minerals and Petroleum Resources Development Act* (DME, 2002).

En Afrique du Sud, la délivrance d'un certificat de fermeture pour une mine nécessite la signature d'un représentant officiel du DWA et d'un représentant officiel du DME. Le détenteur du permis d'exploitation minière reste responsable sur le plan environnemental et doit répondre de toute pollution ou dégradation écologique jusqu'à la délivrance par le ministre des Minéraux et de l'Énergie (DME) d'un certificat de fermeture. En 2010, aucun certificat de fermeture n'avait encore été délivré en Afrique du Sud, dans l'attente d'une clarification des responsabilités et des droits fondamentaux de l'État et des propriétaires des mines.

## 2.4. OBJECTIFS DE FERMETURE

Il n'existe à l'heure actuelle aucun consensus sur la durée que devrait couvrir le plan de fermeture (c'est-à-dire la durée de vie théorique des ouvrages après fermeture). Il est généralement reconnu qu'un barrage de stériles et son contenu devraient être laissés dans un état qui leur permettra de résister aux événements naturels et de ne pas endommager l'environnement. En général, l'intention est d'offrir une solution durable à long terme consistant à laisser le site dans un état qui satisfera la communauté locale sans nécessiter d'entretien ni de dépense. Les principales exigences techniques visent à assurer la stabilité physique, chimique, écologique et sociale du site. Les exigences sociales visent principalement, quant à elles, à assurer la santé publique et à laisser le site dans un état permettant une utilisation durable des terres et de l'eau qui répond aux objectifs de la communauté.

Les objectifs de fermeture visant à laisser un site durable doivent être définis de manière précoce dans l'histoire du projet et nécessitent la participation continue de différentes parties telles que :

- Les propriétaires et les exploitants de la mine,
- Les financiers du projet,
- Les autorités gouvernementales,
- Les propriétaires fonciers voisins,
- Les communautés touchées par le projet.

Les objectifs qui doivent faire l'objet d'un consensus en matière de fermeture sont les suivants :

- Utilisation à long terme des terres et de l'eau,
- Impact sur l'environnement, c'est-à-dire la modification de la topographie, de l'hydrologie, les niveaux acceptables ciblés pour les métaux, les poussières, le pH, etc.
- Dispositions financières, y compris les obligations.

La planification à long terme doit mettre l'accent sur :

- La prévention de la pollution
- La minimisation des impacts
- La stabilité à long terme
- Une approche adaptée au site pour chaque installation
  1. Esthétisme
  2. Plans fonciers

The issue of a Mine Closure Certificate in South Africa requires formal sign-off by both DWA and DME. The mine permit holder remains responsible for any environmental liability, pollution or ecological degradation until the DME Minister has issued a closure certificate. As at 2010, no closure certificates have been issued in South Africa, pending clarification of the fundamental issues and rights of the State and the mine owners.

## 2.4. CLOSURE OBJECTIVES

There is no current consensus about the length of time a closure design should cover (i.e. consensus about closure design life). There is a general agreement that a tailings dam and its contents should be left in a condition which will permanently withstand natural forces and not cause ongoing harm to the environment. In general the intent is to provide a long term sustainable solution in which it is possible to leave the site in a condition which is self sustaining and of benefit to the community without the need for ongoing maintenance and expenditure. The principal technical requirements are to ensure physical, chemical, ecological and social stability. The principal social requirements are to ensure human health and safety and to leave the facility with appropriate and sustainable land and water use that meets the community objectives.

Closure objectives to provide a sustainable site need to be defined early in the project life and will require ongoing involvement of the various stakeholders such as:

- Mine owners and operators,
- Project financiers,
- Government authorities,
- Nearby landholders,
- Communities impacted by the project.

The objectives to be agreed on, relevant to closure, are:

- Long term land and water use,
- Impact on environment, i.e. changed land form, hydrology changes, target acceptable levels for metals, dust, pH, etc.
  
- Financial provisions including bonds

The focus of long term planning should be:

- Pollution prevention
- Minimization of impacts
- Long term stability
- A site-specific approach for each facility
  1. Aesthetics
  2. Land planning

## 2.5. ÉTAPES DE LA FERMETURE

Le processus de fermeture s'échelonne sur plusieurs étapes : la planification de la fermeture, la fermeture progressive, la fermeture proprement dite, l'après-fermeture et l'entretien passif.

La *planification de la fermeture* d'un barrage de stériles commence lors de sa conception.

Une *fermeture progressive* peut le cas échéant être mise en œuvre durant l'exploitation.

La *fermeture* proprement dite débute lorsque l'exploitation de la mine est arrêtée ou que le barrage de stériles atteint sa capacité maximale. Pendant la phase de fermeture, il faut mettre en œuvre toutes les mesures nécessaires à l'atteinte de chaque objectif de fermeture. Une des premières phases de la fermeture est d'obtenir la stabilité chimique et physique des zones qui ont été utilisées ou perturbées par les différentes composantes des activités minières.

La période *après-fermeture* commence lorsque toutes les mesures nécessaires ont été appliquées. La phase après-fermeture peut faire appel à des activités telles que le traitement des effluents et des émissions ainsi que la surveillance et l'entretien nécessaires pour démontrer la stabilité physique, chimique et écologique du barrage de stériles, conformément au plan de fermeture de la mine.

*Entretien actif* : Il s'agit des interventions et de l'auscultation active requises pour l'obtention d'un dépôt final stable et durable ainsi que la stabilisation des ouvrages et des éléments environnementaux.

*L'entretien passif* commence lorsqu'il a été démontré que le barrage de stériles fermé se comporte conformément aux objectifs convenus dans le plan de fermeture.

Il faut noter qu'avec le développement de nouveaux procédés métallurgiques, il est envisageable de rouvrir certaines mines afin d'en extraire les minéraux résiduels.

On constate que la durée de vie théorique considérée comme acceptable pour un barrage de stériles varie grandement d'un pays à l'autre. C'est ainsi qu'aux États-Unis, on parle souvent de durée de vie « indéfinie » ou « infinie » tandis qu'au sein de l'Union européenne, on cite souvent des périodes situées entre 1 000 et 2 000 ans. Dans le document « BREF » (Commission Européenne, 2009) qui accompagne la récente directive européenne en la matière (2006/21/EC) (MWD, 2006), la durée de vie théorique des barrages de stériles après leur fermeture est définie sur une échelle de temps géologique ou devant s'étendre jusqu'à la prochaine période glaciaire. De nombreux projets australiens exigent une durée de vie théorique dépassant 1 000 ans. Il faut cependant noter qu'aucune durée spécifique n'est mentionnée dans de nombreux autres pays.

La tendance, au niveau mondial, est de viser une durée de vie théorique dépassant 1 000 ans. L'adoption d'une durée de vie théorique aussi longue n'est pas considérée comme déraisonnable ou irréalisable puisque certains barrages en Europe faisant toujours l'objet d'une surveillance ont entre 600 et 800 ans (Tedd et al., 2000). Le barrage le plus vieux figurant toujours sur les registres du *Reservoirs*

## 2.5. CLOSURE DESIGN LIFE

In the closure process several time phases are included, i.e. closure planning, progressive closure, closure, post closure and passive care.

*Closure planning* for the tailings dam begins at its conceptual design.

*Progressive closure*, if applicable, may be carried out during operations.

*Closure* starts when the mine operation shuts down or the tailings dam reaches its capacity. During the closure phase all measures that are necessary to comply with the specific closure objectives are undertaken. One of the first phases of the closure is to reach chemical and physical stability of the areas that had been used or disturbed by the different components of the mining activities.

*Post closure* commences when all necessary measures have been carried out. The post-closure phase may include such activities as treatment of effluent and emissions, monitoring and maintenance, as required to demonstrate the physical, chemical and ecological stability of the tailing dam in accordance with the Mine Closure Plan.

*Active care*: the period when active intervention and monitoring is required to achieve a final sustainable stable form concurrently with stabilization of the structures and environmental elements.

*Passive care* commences after the active care period, when it has been proved that the closed tailings dam operates in accordance with the objectives for the agreed closure plan.

It should be noted here that as more modern metallurgical processes are developed, there is the possibility that re-mining to extract residual minerals should be considered after closure of a mine.

There is a wide variation in current acceptable design life periods internationally. For example: “indefinite” or “forever” is commonly used in the USA and 1 000-2 000 years in the EU, although in the BREF (European Commission, 2009), accompanying the recent EU Directive (2006/21/EC) (MWD, 2006), closure design is defined in a geological timescale or until the next ice age). Many Australian projects require a design life in excess of 1 000 years. It is, however, noted that in many other countries there is no stated period.

The International trend is towards a design life in excess of 1 000 years. The adoption of a design life of such a long period of time is not considered unreasonable or impractical, as there are dams in Europe 600 to 800 years old, that are still being monitored, as noted in the publication Tedd et al (2000). The oldest dam currently registered under the UK Reservoirs Act is the Pembroke Old Mill

Act (Loi sur les retenues) du Royaume-Uni est le barrage « Old Mill Dam », à Pembroke, construit en 1199 (M. Cambridge, 2011, communication personnelle).

Le principe de responsabilité, qui s'applique dans certains pays mais reste encore au stade du développement dans d'autres, est un facteur déterminant lors du choix de la durée de vie théorique. Pour les pays membres de l'Union européenne, la *Directive sur la responsabilité environnementale* pourrait avoir un impact majeur sur la réglementation que doivent respecter les plans de fermeture, leur conception et leur mise en œuvre. Il est clair que d'autres juridictions chargées de légiférer sur l'industrie minière se préparent à mettre en œuvre de nouvelles lois fondées sur la responsabilité environnementale qui pourraient avoir des incidences similaires.

Il faut noter que selon le principe d'équivalence, lorsque le plan de fermeture prévoit que le site soit capable de retenir des quantités importantes d'eau au-dessus des terres environnantes (retenue d'eau ou marécages), d'autres lois (relevant également de juridictions situées ailleurs) peuvent imposer la durée de la période de surveillance. Selon la loi en vigueur au Royaume-Uni, un bassin fermé qui contient plus d'un certain volume d'eau au-dessus de la surface des terres environnantes peut relever de la réglementation concernant les retenues et doit alors faire l'objet de visites réglementaires régulières pour l'auscultation et la surveillance des ouvrages pendant une durée non spécifiée (Cambridge, communication personnelle, 2005). Il en va de même en Afrique du Sud, en vertu de la réglementation nationale sur la sûreté des barrages, et possiblement dans d'autres pays également.

Un autre aspect à considérer, lors de la détermination de la durée de vie théorique d'un ouvrage après sa fermeture, est la probabilité d'occurrence d'une inondation ou d'un séisme dont l'ampleur dépasserait celle de l'événement le plus sévère prévu (voir aussi la section 3.2 : Classification des conséquences dans l'optique d'une fermeture).

Les périodes de retour utilisées pour la conception des ouvrages en fonction de la durée de vie théorique adoptée peuvent être évaluées en estimant une probabilité de dépassement. C'est la probabilité de dépasser la sévérité maximale théorique d'un événement pendant la durée de vie théorique d'un ouvrage. Elle peut être calculée en supposant que l'occurrence des événements naturels (séismes, inondations, etc.) suit une loi de Poisson :  $P = 1 - e^{-t/T}$ .

Par exemple, pour une durée de vie théorique après fermeture de 1 000 ans et une période de retour d'un événement susceptible d'engendrer une contrainte excessive sur l'ouvrage de 20 000 ans, la probabilité de dépassement durant la vie de l'ouvrage est de 5 %. De même, une probabilité de 10 % d'excéder les capacités du même ouvrage correspondrait à une période de retour d'approximativement 10 000 ans.

Il faut noter que ces périodes de retour sont généralement supérieures à celles mentionnées habituellement dans divers codes (p. ex. 1 000 ans pour les risques sismiques pour les grands barrages dans le code espagnol NCSR (2002)), même si aucune référence particulière à la fermeture des barrages de stériles n'est faite. Il est donc essentiel de considérer avec attention la probabilité d'une défaillance, tout autant que ses conséquences.

Dam constructed in 1199 (Cambridge, 2011, personal communication).

One regulation which applies in some countries but which remains under development in other, which will have an impact on the chosen design life period, is the principle of liability. In the EU the Environmental Liability Directive may have a major impact on the regulation of tailings dam closure design and implementation, and it is clear that other mining jurisdictions are preparing to implement new environmental liability legislation which may have similar implications.

Note that, where the closure plan results in the ability of the final landform to retain significant volumes of water above surrounding land (i.e. water and/or wetland cover) under the principle of equivalence other legislation (possibly elsewhere as well) may dictate the monitoring period. Under UK legislation, a closed facility with the capacity to store more than a certain volume of water above the surface of the surrounding land may need to comply with reservoir legislation, requiring ongoing statutory inspection and monitoring for time unspecified (Cambridge, 2005, personal communication). The same applies under South African Dam Safety legislation and possibly in other countries as well.

A further consideration to be kept in mind when defining closure design life, is the probability of exceeding a design flood or earthquake event (see also section 3.2: Consequence Classification for closure).

The return periods for the design criteria to be applied for the design life can be estimated on the basis of assuming a probability of exceedance. The probability of exceeding the design value during the design life time may be calculated assuming that the occurrence of events (seismic, floods etc.) follows a Poisson process:  $P = 1 - e^{-t/T}$

For example, using a closure design life of 1 000 years, the return period calculated for a probability of exceeding the design value of 5% the return period would be approximately 20 000 years. Similarly, a 10% probability of exceeding the design would result in a return period of approximately 10 000 years.

It must be noted that these return periods generally exceed the return periods usually considered in various codes (e.g. 1 000 years for seismicity for large dams in the Spanish NCSR (2002)), although no specific reference to the closure of tailings dams is made. This means that focused attention must be given to failure consequences as well as to failure likelihood.

## **2.6. APPROCHES ADOPTÉES POUR LES ANCIENS BARRAGES DE STÉRILES ET POUR LES NOUVEAUX**

Le nombre de barrage de stériles ayant fait l'objet d'activités de fermeture a augmenté considérablement au cours des dernières décennies alors que les connaissances s'accroissent sur l'environnement ainsi que les risques et les impacts sociaux associés à de tels ouvrages. Les gouvernements assument leurs responsabilités et ont fermé un certain nombre de barrages de stériles abandonnés tandis que des sociétés privées ont dépensé des millions de dollars pour la fermeture de barrages ayant atteint leur capacité nominale. Ce faisant, il est apparu que la stabilité physique, hydrologique et géochimique à long terme des barrages de stériles n'était pas toujours prise en considération durant l'exploitation. Il est également devenu clair qu'une conception des barrages de stériles intégrant un plan de fermeture permettrait de faire des économies substantielles lors de l'arrêt des activités, de réduire les obligations financières à long terme qui pèsent sur les propriétaires et les gouvernements et surtout de réduire les impacts environnementaux et les préoccupations en matière de sécurité. La planification de la fermeture au début de chaque projet est maintenant devenue la norme. Le développement des principes de conception durable, l'apparition de nouvelles technologies et l'amélioration des anciennes rendent la construction, l'exploitation et la fermeture des nouveaux barrages de stériles plus efficaces et conformes aux principes de durabilité.

Pour les nouveaux projets, les objectifs de fermeture peuvent influencer sur plusieurs aspects tels que le choix du site, la méthode de construction du barrage, le mode de dépôt des stériles et la gestion de l'eau. Le dépôt des stériles est ensuite modifié au fil du temps de manière à atteindre les objectifs de fermeture tout en fournissant un minimum d'efforts supplémentaires et en minimisant les coûts.

Dans le cas des barrages de stériles existants – fermés, abandonnés ou toujours en exploitation – il se peut que la solution la plus économique durant l'exploitation ait été retenue pour la stabilité à court terme de l'ouvrage et une gestion de l'eau adaptée aux besoins des activités. De tels barrages nécessitent souvent des travaux importants tels que le remblaiement des talus, l'installation de drains et la modification des systèmes de drainage externes ou en surface. Tous ces travaux doivent permettre de faire en sorte que les objectifs de fermeture soient respectés durant toute la durée de vie théorique de l'ouvrage après fermeture. Les éléments ayant une durée de vie théorique limitée, tels que les filtres géotextiles, les tuyaux de décantation enterrés, les conduites d'évacuation sous les routes, les fossés de drainage latéral et les déversoirs, doivent tous être vérifiés et au besoin modifiés pour que les objectifs de durée de vie théorique après fermeture soient respectés.

## **2.7. L'INFLUENCE DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION ET DE DÉPÔT**

Le Bulletin 106 de la CIGB offre des recommandations pour diverses méthodes de construction des remblais et de dépôt des stériles.

Les méthodes retenues pour la construction des remblais et le dépôt des stériles ont des répercussions importantes sur la fermeture finale. Par exemple, lorsque les stériles sont utilisés pour construire le barrage, à l'aide d'un cyclone, d'une buse de

## **2.6. APPROACH FOR EXISTING COMPARED TO NEW TAILINGS DAMS**

The number of tailings dams that have undergone closure activities in recent decades has increased significantly as a result of better understanding of the environmental, safety and social impacts of these facilities. Governments have taken responsibility and closed some abandoned tailings dams while private companies have spent millions of dollars on closing tailings dams that have reached their capacity. In the process, it has become obvious that the long term physical, and geochemical stability of tailings dams were not always considered during operation. It also became apparent that designing tailings dams with closure in mind would provide substantial savings at closure, reduce the long term financial obligations of the owners and the governments, and more importantly, reduce environmental impacts and safety concerns. Planning for closure at the onset of every project has now become the norm and further development of sustainable design principles; improvements of existing technologies and development of new ones make the construction, operation and closure of new tailings dams more efficient and in line with sustainability principles.

For new projects, the closure objectives influence such factors as site selection, dam construction methods, tailings disposal patterns and water management. The tailings dam is then developed over time to achieve closure objectives with minimal additional works and at optimum costs.

For existing tailings dams, whether closed, abandoned or still in use, it may have been expedient for development during operations to be driven by minimal expenditure consistent with meeting short term stability and water management to suit process requirements. Such dams often require major works such as reshaping of slopes, installation of drains, modification of external drainage or changed surface drainage systems, all of which must now satisfy the closure objectives throughout closure design life. Items with limited design life, such as geotextile filters, buried decant pipes, road culverts, side drains and spillways must all be checked and modified as necessary to meet closure design life objectives.

## **2.7. THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION AND DEPOSITION METHODS**

ICOLD Bulletin 106 provides guidance to various alternative tailings embankment construction and tailings deposition methods.

The selected tailings deposition method and embankment construction method plays a major role in final closure. For example, methods that use the tailings for dam construction, i.e. cycloning, spigotting, spraybar, etc., may have the decant

déversement, d'une rampe d'aspersion, etc., il est possible que le bassin de décantation se retrouve éloigné de la paroi du barrage et que des travaux soient nécessaires si l'on veut aboutir à une fermeture par couverture sèche. Une telle méthode peut aussi favoriser la formation d'un plan d'eau permanent qui peut être nécessaire au contrôle de l'acide généré. Cependant, si une méthode de fermeture par couverture sèche est préférée, des déversoirs et des drains solides doivent être aménagés pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie sans avoir recours à des conduites enterrées, qui risquent de s'effondrer ou de s'obturer avec le temps, ou à des stations de pompage. Les drains à ciel ouvert et tous les déversoirs utilisés pour faciliter le transfert de l'eau du niveau des stériles au niveau initial du sol doivent être renforcés pour qu'ils soient capables de résister à l'érosion sur l'ensemble de la durée de vie théorique de l'ouvrage après fermeture.

Une autre méthode consiste à déposer les stériles épaissis à partir d'une buse de rejet située au centre du bassin en créant ainsi un monticule central et un anneau de drainage plus rapproché de la paroi périmétrique de l'ouvrage, sans toutefois la toucher. Le degré d'épaississement des stériles pour un dépôt à l'aide d'une ou plusieurs buses de déversement aura une incidence sur le degré de ségrégation. Un dépôt mal contrôlé produira des couches de matériaux fins piégés entre des couches plus sableuses. Un tel empilement améliore la vitesse de consolidation des matériaux fins mais ceux-ci peuvent contribuer à garder le niveau phréatique élevé, voire à la création d'une nappe perchée. Le dépôt central des stériles sous forme épaissie, qui produit un monticule conique de résidus, simplifie le drainage des eaux de pluie après la fermeture. Les problèmes de stabilité des remblais périmétriques doivent cependant être résolus.

Une autre approche consiste à déposer les stériles sur le sol naturel pour qu'ils s'accumulent en aval contre la paroi du barrage constituée de terre ou de roches. Dans ce cas, le surnageant s'accumule contre le remblai de la retenue et il est alors possible, après fermeture, d'évacuer les eaux de pluie par le biais de déversoirs construits solidement sans avoir recours à des conduites enterrées ou des stations de pompage.

L'empilement des stériles secs peut là aussi être façonné de manière à favoriser le drainage après fermeture.

La méthode de dépôt et la gestion de la taille et de l'emplacement du bassin de décantation ont une incidence majeure sur la hauteur du niveau phréatique et donc sur la stabilité à long terme de l'ouvrage.

Il convient de noter qu'à la fermeture, l'apport continu d'eau de procédé dans les couches successives de stériles humides prend fin et que le niveau phréatique peut alors baisser, ce qui améliore aussi la stabilité. De même, les contraintes résultant de l'addition continue de nouvelles couches de stériles se dissipent avec le temps après l'arrêt de la production, un autre facteur de stabilisation.

Le dépôt de la couche finale peut servir à faciliter la fermeture. Les buses de déversement peuvent être positionnées de manière à créer des monticules ou d'autres formes propices à la réalisation des objectifs de fermeture. Un dépôt effectué de manière stratégique peut modifier la forme et la position du bassin de décantation final et ainsi réduire la longueur des canaux de drainage permanents. Pour certains projets, des matériaux tels que de la chaux et des engrais ont été ajoutés aux résidus miniers avant dépôt pour que les couches finales soient plus fertiles.

pond furthest from the dam wall and may require works to transition to a dry closure. Alternatively this may result in a pond forming a permanent lake where this is required for control of acid generation. However, if a dry closure method is preferred then robust spillways and drains must be cut to provide natural escape of storm water without relying on buried pipe work, which may collapse or become blocked over time, or pumping facilities. Open drains and any spillway system used to facilitate the transfer of water from the tailings level to the original ground level must be armoured to resist erosion over closure design life.

An alternate approach is to deposit thickened tailings from a central discharge point, creating a central mound and a doughnut-shaped drainage ring closer to, but not against, the perimeter wall of the storage. The degree of thickening where the discharge is either by single, spigot or multiple spigot, will affect the degree of segregation. Poorly controlled deposition will leave layers of fine material trapped between sandier layers. This will improve the rate of consolidation of fines, but the fine layers can keep the phreatic level at a higher level, or even cause perched water tables. Tailings deposited by the central thickened method, whereby a conical deposit is formed, makes post closure drainage of storm water to the environment simpler. However, perimeter embankment stability issues need to be addressed.

Another alternate approach is to deposit from natural ground, towards a downstream earth/rock impounding wall. In this case the supernatant pool will form against the outer impounding embankment wall, and post closure removal of storm water by robust gravity spillway without relying on buried pipe work or pumping facilities, becomes possible.

Stacking of dry tailings can similarly be advantageously shaped for post closure drainage.

Deposition methods, in conjunction with management of the size/location of the decant pond, will have a major influence on the position of the phreatic surface and therefore influence long term stability.

It should be noted that, at closure, the ongoing supply of process water being added in new layers of wet tailings ceases and the phreatic surface occurring during the operational phase may then drop, improving stability. Similarly, the consolidation for pressures caused by the ongoing addition of new tailings layers will dissipate with time after production ceases, further improving stability.

The deposition of the final layers can be used to assist closure. Discharge spigots can be placed to create mounds or landforms suitable for closure objectives. Strategic discharge can modify the shape and position of the final decant pond, reducing the extent of permanent drainage channels. In some projects materials such as lime and fertilizer have been added to the tailings stream so that the final layers are more conducive to plant growth.

Le dépôt par buse de déversement en amont, couramment utilisé dans les zones de sismicité faible, illustre l'incidence de la méthode de dépôt sur la stabilité physique, chimique et hydraulique à long terme d'un barrage de stériles. Lorsqu'ils sont gérés convenablement, les barrages de stériles développés de cette manière, présentent les avantages suivants à long terme :

- La plage non submergée (« semi-aérienne ») est très large et la retenue d'eau est éloignée de la paroi du barrage.
- La répartition granulométrique des particules suivant une direction perpendiculaire à la plage suit le mode de déposition général selon lequel les stériles les plus grossiers se déposent près du remblai d'endiguement tandis que les plus fins se déposent dans le bassin.
- Cette transition graduelle des stériles les plus fins aux résidus les plus grossiers empêche généralement le colmatage et l'érosion interne à long terme de la paroi d'endiguement.
- La répartition granulométrique graduelle des stériles des plus grossiers au plus fins contribue à abaisser le niveau phréatique, ce qui, en retour, accélère la consolidation et augmente la résistance effective au cisaillement et la stabilité du talus externe.

Les méthodes préférées pour les zones de sismicité plus élevée sont basées sur des critères de conception plus rigoureux.

Le déversement des stériles à l'aide de buses intervient aussi dans les méthodes « de l'axe central » et « aval » qui permettent d'utiliser les stériles ainsi répandus pour réduire les gradients hydrauliques et colmater les fissures.

## **2.8. PRINCIPES FINANCIERS**

Il est important d'estimer le coût de la fermeture le plus tôt possible dans le projet puisqu'il peut avoir une incidence sur les résultats de l'étude de faisabilité liés à l'aspect financier. Les premiers estimés sont basés sur un certain nombre d'hypothèses de travail qu'il faut par la suite réexaminer et raffiner, ce qui peut entraîner des modifications importantes des estimés.

Le modèle financier doit tenir compte des règlements pertinents et des éléments suivants liés à la fermeture :

- Estimés des coûts liés à la fermeture.
- Étapes éventuelles au cours desquelles la fermeture de certaines installations, d'entreposage ou l'aménagement des talus sera mise en œuvre progressivement.
- Coûts des activités continues de surveillance et de gestion.
- Méthode de financement de la fermeture.
- Évolution des coûts du financement dans le temps.
- Fonds de secours en cas d'accident.

Les organismes de réglementation ont intérêt à s'assurer que des fonds adéquats sont disponibles pour la fermeture des sites à la date prévue, plus tôt si le projet échoue pour raisons économiques ou plus tard si une quantité plus élevée de minerai

As an example of the influence of the deposition method on the long term physical, chemical and hydraulic stability of the tailings dam, spigot deposition by the upstream construction method, is commonly used in low seismic areas. Such tailings dams, when managed properly, have the following advantageous long term features:

- The non-submerged (sub-aerial) beach has a large width and the water pool is far from the impounding wall.
- The gradual segregation of particle size, from coarse to fine across the beach normally follows general zoning where the coarsest free draining tailings settle near the confining embankment wall and the finest tailings settle at the pool.
- This gradual transition from the fine tailings to the coarser tailings generally prevents clogging and internal erosion of the confining wall in the long term.
- The tailings gradation from coarse to fine lowers the phreatic surface, which, in turn, accelerates the consolidation, increases the effective shear strength and increases the outer slope stability.

Alternative design methods for higher seismic areas employ more rigorous design criteria.

Spigotting principles also apply to centreline and downstream construction methods where the spigotted tailings can be used to reduce hydraulic gradients and provide crack sealing.

## **2.8. FINANCIAL PRINCIPLES**

It is important to estimate the cost of closure at the earliest possible stage in the project as it can influence the feasibility study in determining the financial viability of the project. Early estimates rely on a number of assumptions and ongoing work should focus on those assumptions with the potential to have a major impact on the estimates.

The financial model should involve the following components related to closure, taking into account relevant regulations:

- Estimates of closure costs.
- Whether there will be stages where closure of certain storage facilities or treatment of permanent slopes will be carried out progressively.
- Ongoing monitoring and management costs.
- Method of providing funds for closure.
- Variation in cost of financing over time.
- Allowance for risk contingency.

Jurisdictions have an interest in ensuring that adequate funds are available for closure, either at the predicted closure time, or earlier if economic conditions may cause the project to fail, or even later if more ore is discovered or production rates

est découverte ou que la vitesse d'extraction change. Ces organismes doivent s'assurer que des fonds seront disponibles en cas de changement de propriétaire, de faillite ou de modification des dispositions en matière de financement. C'est pourquoi les sociétés d'exploitation minière peuvent être dans l'obligation de fournir des dépôts ou des garanties et/ou de passer des ententes concernant la réhabilitation progressive des sites. Ces exigences peuvent être conditionnelles à la délivrance des permis d'exploitation minière. Parmi les dispositions liées à la fermeture, les autorités compétentes peuvent également exiger que des ententes soient conclues avec les propriétaires fonciers ou d'autres parties intéressées.

Les directives de l'Union européenne concernant les garanties financières détaillent les coûts qui doivent être inclus dans les estimés. Les autorités d'autres pays ont des exigences similaires.

## 2.9. RÉGLEMENTATION

De nombreux pays développés et pays en voie de développement s'appuient aujourd'hui sur des exigences bien établies pour ce qui est de l'exploitation et de la fermeture des barrages de stériles. Les pays qui n'en sont pas encore là devraient envisager l'adoption des exigences recommandées par la Banque mondiale ou d'autres critères internationaux en guise d'exigences minimales.

L'expérience concernant l'évolution à long terme des sites soigneusement conçus en vue de leur fermeture étant limitée, la réglementation a tendance à se concentrer sur les résultats de la fermeture plutôt que sur le processus de fermeture lui-même. Elle peut notamment exiger que le site soit remis dans son état initial, tel qu'il était avant l'implantation du projet minier, voire dans un état amélioré. La réglementation exige souvent la préparation de rapports sur des sujets spécifiques ou des mesures particulières portant par exemple sur la quantité de poussières, le niveau et la qualité de l'eau souterraine, le débit et la qualité de l'eau de percolation, la biodiversité, le comptage de la faune, etc.

Au sein de l'Union européenne, par exemple, la *Directive concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive* (MWCED, 2006), un certain nombre de documents ont été préparés pour guider les organismes de réglementation :

- Caractérisation des installations.
- Recommandations concernant l'échantillonnage.
- Essais statiques et dynamiques.
- Recommandations générales.

Bien que de tels règlements et rapports puissent constituer une base en matière d'exigences pour la fermeture de barrages de stériles, il est plus avantageux de mettre en place une entente spécifique pour le site entre toutes les parties intéressées, y compris les propriétaires et le gouvernement. Une telle entente peut signifier l'inclusion d'exigences plus sévères pour certains facteurs (p. ex. aspects visuels, droits sur les eaux riveraines) et moins sévères pour d'autres (p. ex. quantité de poussières dans un désert non habité ou un autre lieu touché). Les paramètres retenus pour le site sont ensuite mesurés et les autorisations sont délivrées en fonction des résultats.

change. These authorities need to ensure that the funds will be available in the event of change of ownership, bankruptcy or change of company funding arrangements. For these reasons, companies may have to provide securities, bonds and/or enter into agreements concerning progressive rehabilitation. These requirements may be linked to the granting of mining licenses or permits. As part of closure provisions, authorities may also require agreements to be reached with landowners or other stakeholders.

The EU guideline for financial security describes what costs should be included in estimates. Other countries have similar requirements.

## 2.9. REGULATIONS

Many developed and developing countries now have established requirements for the operation and closure of tailings dams. Those that do not should consider adopting the World Bank or other appropriate international criteria as a minimum requirement.

As there is relatively limited experience of the long term performance of sites that have been carefully engineered for closure, regulations tend to concentrate on the outcomes, rather than the closure process, and may include expectations of conditions equal to, or in some cases better than, pre-mining conditions. Regulations often prescribe reporting requirements, which usually cover specific topics or are related to measurements of particular factors such as dust, ground water depth and quality, seepage flow rate and quality, biodiversity, fauna counts, etc.

For example, in the EU, to accompany the *Extractive Waste Directive* (MWCED, 2006), a number of documents have been prepared to provide guidance to regulators as follows:

- Facility characterization.
- Sampling guidance.
- Static and kinetic testing.
- General guidance.

While such regulations and reports form a basis for closure expectations, it may be more beneficial to reach a site- specific agreement with all the relevant stakeholders including the mine owners and government. This may determine more stringent requirements for some factors (for example, visual aspects, riparian water rights) and more relaxed requirements for other factors (for example, dust in an unpopulated desert or other exposed location). The parameters for the specific site are then measured and approvals granted on this basis.

## 2.10. PRINCIPES DE GESTION DES RISQUES

Le risque est défini comme étant le produit de la probabilité qu'un événement se produise par le degré de sévérité des conséquences possibles. L'objectif principal de la fermeture durable d'un barrage de stériles est de réduire au minimum les risques associés à la fermeture. Les risques associés à la fermeture découlent de l'éventuel défaut de stabilité physique, chimique, écologique ou sociale du site. Exemples de risques associés à la fermeture :

- Rupture du barrage.
- Contamination de l'eau ou de l'air.
- Dégradation de la couverture de remise en valeur.
- Mise en danger du public.

La *probabilité* de rupture du barrage, d'une diminution de la qualité de l'eau, d'une érosion excessive, d'un mauvais fonctionnement ou d'un problème lié à l'entretien ou au financement, etc., peut être réduite en prenant les mesures suivantes :

- Augmentation du niveau de conservatisme dans la conception des éléments associés à la fermeture.
- Augmentation de la période de retour de dysfonctionnement pour les inondations et les séismes.
- Incorporation des éléments de conception durable (présentés dans la section 3).

De même, les *conséquences* d'un événement peuvent notamment être réduites par les mesures suivantes :

- Élimination ou réduction importante du bassin d'eau libre au moment de la fermeture.
- Aménagement d'ouvrages robustes pour l'évacuation sûre de l'eau de pluie après la fermeture.
- Utilisation d'une conception fiable et adoption de plans de secours pour parer à la combinaison d'événements.
- Incorporation des éléments de conception durable (présentés dans la section 3).

La gestion des risques porte principalement sur le passage d'un entretien actif à un entretien passif. La Fig.1. donne un exemple typique de classification des risques. Lors de la fermeture, l'objectif sera de faire en sorte que tous les risques soient éloignés du niveau 7 (élevés) et se rapprochent du niveau 2 (négligeables).

| PROBABILITÉ     | CONSÉQUENCE   |          |          |          |
|-----------------|---------------|----------|----------|----------|
|                 | Très bénignes | Bénignes | Modérées | Graves   |
| Très probable   | Niveau 4      | Niveau 5 | Niveau 6 | Niveau 7 |
| Probable        | Niveau 3      | Niveau 4 | Niveau 5 | Niveau 6 |
| Négligeable     | Niveau 2      | Niveau 3 | Niveau 4 | Niveau 5 |
| Très improbable | Niveau 1      | Niveau 2 | Niveau 3 | Niveau 4 |

Fig. 1  
Tableau d'analyse des risques

## 2.10. RISK MANAGEMENT PRINCIPLES

Risk is defined as the product of likelihood (probability of occurrence) times the consequence of the occurrence. The main objective of a sustainable tailings dam closure is to reduce to a minimum the risks associated with the tailings dam closure. The closure risks would be associated with meeting the physical, chemical, ecological and social stability of the facility. Examples of closure risks include:

- Dam failure.
- Water or air contamination.
- Reclamation cover degradation and.
- Safety to the public.

The *likelihood* of a dam failure or significant water quality effects, erosion, malfunction, maintenance, future cost, etc., can be reduced by such measures as:

- Increasing the level of conservatism in the design for closure.
- Increasing the design return periods for floods and earthquakes.
- Incorporating sustainable design considerations (presented in Section 3).

Similarly, the *consequence* of an occurrence can be reduced by such measures as:

- Eliminating or significantly reducing the free water pond on closure.
- Providing robust post-close facilities for the safe removal of storm water.
- Using of robust designs with contingencies incorporated to address combinations of events.
- Incorporate sustainable design considerations (presented in Section 3).

The objective of risk management is to move from active care to passive care. An example of a typical risk review chart is shown in Fig. 1. The closure objective is to move all risks away from the Level 7 (high risks) towards Level 2 or lower (negligible risks).

| LIKELIHOOD    | CONSEQUENCE |         |          |         |
|---------------|-------------|---------|----------|---------|
|               | V. low      | Low     | Moderate | Hight   |
| Highly Likely | Level 4     | Level 5 | Level 6  | Level 7 |
| Probable      | Level 3     | Level 4 | Level 5  | Level 6 |
| Unlikely      | Level 2     | Level 3 | Level 4  | Level 5 |
| Very Unlikely | Level 1     | Level 2 | Level 3  | Level 4 |

Fig. 1  
Typical Risk Review Chart

L'examen d'une installation doit permettre de déterminer si des risques de niveau 7, 6, 5 ou même 4 doivent être pris en compte et si d'éventuelles mesures d'atténuation de ces risques doivent être mises en place.

L'évaluation des risques en fonction de la classification illustrée par la figure 2.1 peut différer suivant qu'il s'agit d'une fermeture à long terme ou d'une phase d'exploitation.

## **2.11. CLASSIFICATION DES BARRAGES EN VUE DE LEUR FERMETURE**

Dans de nombreuses juridictions, la classification des barrages, qui permet de fixer les critères de conception en tenant compte des inondations et des séismes, est basée sur les conséquences possibles en cas de défaillance de l'ouvrage. Les Tableaux 1 et 2 ci-dessous montrent respectivement, en guise d'exemple, la classification utilisée par l'Association canadienne des barrages (ACB) et celle utilisée dans la réglementation espagnole. Sur le long terme cependant, en particulier après sa fermeture, le classement d'un barrage peut être modifié si les conséquences d'une défaillance change par rapport à la situation durant son exploitation. Par exemple, si le volume d'eau libre dans le bassin est fortement réduit ou éliminé, le risque de déversement incontrôlé d'eau et de stériles est réduit. Dans ce cas, une défaillance n'engendrerait que la libération d'une eau accumulée en profondeur, mélangée à des stériles, tandis que la masse restante des stériles reste en place ou s'affaisse pour former une pente stable. Les mesures prises lors de la fermeture pourraient alors devenir inefficaces à cause de l'exposition de stériles potentiellement dangereux à l'oxygène et à l'eau et des dommages environnementaux qui pourraient s'en suivre. Parmi les autres éléments susceptibles de réduire la sévérité des conséquences d'une éventuelle rupture, on peut citer les ouvrages de drainage et la consolidation des stériles qui réduisent les chances qu'une grande quantité de stériles soit entraînée en cas de rupture du barrage. Il existe aussi des facteurs susceptibles d'aggraver les conséquences d'une éventuelle rupture, tels qu'une densification de la population ou des infrastructures au voisinage du barrage qui expose donc un plus grand nombre de personnes et de matériels au risque d'accident.

La classification des conséquences d'une rupture du barrage en fonction du degré de sévérité doit être effectuée aussi bien durant l'exploitation que durant les autres phases de la vie de l'ouvrage, sur le long terme.

For any given facility, after review and analysis, there may be possible failure items that need to be inserted into the Level 7, 6, 5 or even 4 likelihood/consequence boxes and mitigation measures put in place.

With reference to the criteria in Fig. 1, it must be appreciated that the application of risk assessment can differ for long term closure and an operational time frame.

## **2.11. DAM CLASSIFICATION FOR CLOSURE**

In many jurisdictions the dam classification, which defines design criteria for floods and earthquakes is based on the consequence of failure. Examples of Dam Classification as used by the Canadian Dam Association (CDA) are shown in Table 1 below (CDA, 2007), and for the Spanish legislation in Table 2 below. Over the long term, however, the dam classification may change due to changes in the consequence of failure, compared to the situation during operation. For example, if the free water pond is significantly reduced or eliminated, the potential for uncontrolled outflow of water/tailings from the facility is reduced. In this case failure would be confined to a release of accumulated water plus associated transported tailings, while the remaining tailings mass may remain in place or slump to a stable slope. In such a case, closure measures may, however, be destroyed as potentially hazardous tailings will be exposed to oxygen and water, which will cause environmental damage. Additional factors that could reduce the consequence include drainage and consolidation of the tailings, which again reduces the potential for large amounts of tailings to be transported in the case of a dam failure. Alternately, there are also factors that could increase the consequence of failure, such as increased population or infrastructure in the vicinity of a dam, thus potentially exposing more people or structures to incidents.

Consequence classification should always be carried out both during the operation and long term phases.

Tableau 1  
Exemple de classification des barrages  
(Association canadienne des barrages, 2007)

| Classement du risque associé au barrage  | Population exposée | Pertes incrémentielles  |   |  |
|--|--------------------|-------------------------|---|--|
|  |                    | Nombre de tués          | Perte d'éléments environnementaux et culturels  | Perte d'infrastructures et d'éléments économiques  |
| Faible   | Aucune             | 0                       | Minimale, à court terme<br>Aucune perte à long terme  | Pertes économiques faibles ; la zone contient un nombre limité d'infrastructures et de services  |
| Important  | Temporaire         | Non spécifié            | Aucune perte ni aucune détérioration importante de l'habitat des poissons ou de la faune<br>Perte d'habitat marginal seulement<br><br>Restauration ou compensation en nature fortement possible | Pertes d'installations de loisir, de sites de travail saisonniers et de voies de transport rarement utilisées  |
| Élevé  | Permanente         | Inférieur ou égal à 10  | Perte ou détérioration importante d'un habitat <i>important</i> pour le poisson ou la faune<br><br>Restauration ou compensation en nature fortement possible                                    | Pertes économiques importantes affectant les infrastructures, le transport public et des installations commerciales  |
| Très élevé   | Permanente         | Inférieur ou égal à 100 | Perte ou détérioration importante d'un habitat <i>essentiel</i> pour le poisson ou la faune<br><br>Restauration ou compensation en nature possible mais non réalisable en pratique              | Pertes économiques très élevées affectant des infrastructures ou des services importants (p. ex. autoroute, installations industrielles, entrepôts de substances dangereuses)        |
| Extrême  | Permanente         | Supérieur à 100         | Perte importante d'habitats <i>essentiels</i> pour le poisson ou la faune<br><br>Restauration ou compensation en nature impossible  | Pertes massives affectant des infrastructures ou des services essentiels (p. ex., hôpitaux, important complexe industriel, entrepôts importants abritant des substances dangereuses) |
| Voir le Tableau 2 dans les directives publiées en 2007 par l'ACB et les notes concernant les populations exposées et les conséquences en termes de nombre de tués. |                    |                         |   |  |

Table 1  
 Example of Dam Classification  
 (Canadian Dam Association, 2007)

| Dam class  | Population at ris | Incremental Losses |  |   |
|--|-------------------|--------------------|--|---|
|  |                   | Loss of life       | Environmental and cultural values  | Infrastructure and economics  |
| Low  | None              | 0                  | Minimal short-term<br>No long term loss  | Low economic losses;<br>area contains limited<br>infrastructure or services   |
| Significant  | Temporary only    | Unspecified        | No significant loss or deterioration of fish or wildlife habitat<br><br>Loss of marginal habitat only<br><br>Restoration or compensation in kind highly possible | Losses to recreational facilities, seasonal workplaces, and infrequently used transportation routes   |
| High   | Permanent         | 10 or fewer        | Significant loss or deterioration of <i>important</i> fish or wildlife habitat<br><br>Restoration or compensation in kind is highly possible                     | High economic losses affecting infrastructure, public transportation, and commercial facilities   |
| Very high  | Permanent         | 100 or fewer       | Significant loss or deterioration of <i>critical</i> fish or wildlife habitat<br><br>Restoration or compensation in kind possible but impractical                | Very high economic losses affecting important infrastructure or services (e.g., highway, industrial facility, storage facilities, for dangerous substances) |
| Extreme  | Permanent         | More than 100      | Major loss of <i>critical</i> fish or wildlife habitat<br><br>Restoration or compensation in kind impossible   | Extreme losses affecting critical infrastructure or services, (e.g., hospital, major industrial complex, major storage facilities for dangerous substances) |
| See Table 1 in the CDA 2007 Guidelines for notes related to population at risk and implications of loss of life. |                   |                    |  |   |

Tableau 2  
Exemple de classification des dépôts de stériles, selon la réglementation espagnole, en quatre classes et quatre catégories. (Règlement ITC 08-02-01: 2000)

| Classe | Hauteur<br>(m)    | Longueur<br>(m)             | Capacité de la retenue<br>(m <sup>3</sup> ) | Capacité du déversoir<br>(m <sup>3</sup> /s) | Catégorie | Dommages                      | Personnes et biens touchés  |
|--------|-------------------|-----------------------------|---|--|-----------|-------------------------------|---|
| 1      | > 15<br><br>10-15 | Toute longueur<br><br>> 500 | Toute capacité<br><br>> 106                 | Toute capacité<br><br>> 2 000                | A         | graves<br><br>très importants | centre de population ou de services essentiels<br><br>*éléments de risque |
| 2      | 5-15              | non inclus dans la classe 1 |   |  | B         | importants                    | *éléments de risque, habitations  |
| 3      | < 5               |                             |   |  | C         | modérés                       | risques seulement occasionnels pour la vie humaine                        |
| 4      | étangs            |                             |   |  | D         | faibles                       | *éléments de risque   |

\* Eléments de risque : population, travailleurs, édifices, structures relevant du génie civil, activité économique, services publics, éléments environnementaux, etc.

Les critères de conception à adopter pour réduire des risques associés aux inondations et aux séismes tout en intégrant les facteurs de sécurité varient habituellement en fonction de la classe du barrage. Les critères de conception adoptés pour la fermeture doivent tenir compte de la cote accordée sur le long terme.

Table 2  
 Example of Classification of tailings deposits, according to Spanish legislation into four classes and four categories. (Regulation ITC 08-02-01: 2000)

| Class | Height<br>(m)     | Length<br>(m)           | Reservoir<br>capacity<br>(m <sup>3</sup> ) | Spillway<br>capacity<br>(m <sup>3</sup> /s) | Category | Damage                           | Lives and<br>property<br>affected                                   |
|-------|-------------------|-------------------------|--|---|----------|----------------------------------|---|
| 1     | > 15<br><br>10-15 | Any<br><br>> 500        | Any<br><br>> 106                           | Any<br><br>> 2 000                          | A        | serious<br><br>very<br>important | population<br>centre or<br>essential services<br><br>*risk elements |
| 2     | 5-15              | Not included in class 1 |  |   | B        | important<br>any                 | *risk elements,<br>housing  |
| 3     | < 5               |                         |  |   | C        | moderate                         | only<br>incidentally<br>to lives                                    |
| 4     | étangs            |                         |  |   | D        | small                            | *risk elements  |

\* Risk elements = population, workers, buildings, civil engineering structures, economic activity, public services, environmental elements, etc.

The corresponding design criteria for floods, seismic and factors of safety typically vary according to the consequence classification of the dam. The design criteria for closure should consider consequence classification of the long term design life.

---

## 3. ASPECTS DE LA CONCEPTION DURABLE

---

### 3.1. GÉNÉRALITÉS

Plusieurs bulletins publiés par la CIGB (voir : lectures complémentaires) et de nombreux autres excellents ouvrages, cités dans la section des références, offrent des lignes directrices pour la conception conventionnelle des diverses composantes d'un barrage de stériles. L'objet de ce bulletin n'est donc pas de répéter le contenu de ces publications mais plutôt de mettre en lumière certains aspects spécifiques qui nécessitent une attention particulière lorsqu'une durée de vie théorique d'au moins 1 000 ans est adoptée.

Une conception respectant les principes de base est nécessaire pour une fermeture à long terme. Il faut tenir compte des nombreux facteurs qui pourraient avoir une incidence sur la durabilité du barrage de stériles et dont il faut donc tenir compte dans les approches envisagées pour la conception de l'ouvrage, aux stades préliminaires du projet.

Il faut également noter que les exigences en matière de conception et de fermeture peuvent varier de manière importante d'un barrage à l'autre et d'un pays à l'autre. Une conception axée sur la durabilité à long terme doit toutefois s'appuyer sur une approche plus conservatrice, une méthode de dépôt appropriée et une attention particulière aux conséquences d'une éventuelle rupture du barrage.

Pour assurer la viabilité d'un barrage de stériles sur l'ensemble de sa durée de vie théorique, qui peut dépasser les 1 000 ans, il est nécessaire de tenir compte des facteurs suivants sur le long terme :

- Stabilité physique
- Stabilité chimique
- Stabilité écologique
- Stabilité sociale dans la zone d'influence de l'ouvrage (bien que l'évolution de ce facteur avec le temps soit difficile à prévoir)

Il est également nécessaire d'effectuer des études comparatives pour les éléments suivants en observant l'effet de différents choix sur les facteurs mentionnés précédemment :

- Sélection du site
- Sélection du type de remblais
- Sélection de la méthode de dépôt
- Systèmes de gestion des eaux de pluie et des eaux de procédé
- Forme finale du terrain

La sélection prudente de ces éléments détermine la forme finale du dépôt. Il reste alors à décider des détails de la conception qui permettront d'aboutir à des conditions satisfaisantes à la fermeture et sur le long terme, en respectant les principes et les objectifs de fermeture définis dans la section 2.

---

## 3. SUSTAINABLE DESIGN CONSIDERATIONS

---

### 3.1. GENERAL

There are existing ICOLD Bulletins (See 6: Further reading) and many other excellent publications that provide guidelines for the conventional design of the various components of a tailings dam, as listed in the references. It is thus not the intention of this bulletin to repeat these, but rather to highlight the specific aspects that require special consideration when a sustainable design life of 1,000 years or more is adopted.

In many ways, a design from basic principles is required for long term closure, by giving consideration to the many factors that may influence the sustainability of a tailings dam and which should be included in the design approaches at the conceptual and detail design stages.

It should also be noted that design and closure requirements may vary widely from case to case and from country to country. Designing for the sustainable long term may, however, require increased conservatism of approach, appropriate selection of deposition method and careful attention to failure consequence.

In order to address sustainability, over a design life that could be 1,000 years or more, it is necessary to consider the following impacts that the proposed new tailings dam may have in the long term:

- Physical stability
- Chemical stability
- Ecological stability
- Social stability in the area of influence (although this is difficult to forecast into the future)

Sustainability over a period of time requires alternative impact comparison studies in each of the above spheres to be undertaken for:

- Site selection
- Embankment type selection
- Deposition method selection
- Storm and process water management systems
- Final landform

Careful selection of these factors will lead to a definition of the form of the final deposit, which then requires decisions on how to achieve detailed design to ensure satisfactory conditions at closure and in the long term, to meet all of the closure principles and objectives set out in Section 2.

Pour assurer, aux stades de la conception détaillée, des conditions qui conduiront plus tard à une fermeture durable, il est nécessaire de répondre au minimum aux questions suivantes :

- Quelle sera la forme finale des surfaces supérieures et externes du barrage à la fin de la phase de dépôt actif? Comment parviendra-t-on à la forme souhaitable lors de la fermeture et comment cette forme se maintiendra-t-elle sur le long terme ?
- Quelles seront les conditions de charge lors de la fermeture et sur le long terme, et comment ces conditions vont-elles évoluer dans le temps? Tenir compte des conditions futures finales dans la conception initiale.
- Quels sont les facteurs qui peuvent nuire à la stabilité physique et chimique générale des stériles et des remblais sur le long terme ?
- Quels sont les facteurs qui pourraient être mis en évidence par une analyse des risques associés à l'état du barrage à sa fermeture et sur le long terme? Comment ces facteurs doivent-ils être pris en compte au stade de la conception ?
- Comment faut-il concevoir le barrage pour assurer sa stabilité hydraulique à long terme, en particulier dans le contexte d'inondations extrêmes et des changements climatiques ?
- Comment faut-il concevoir le barrage pour assurer la stabilité écologique à long terme des surfaces finales et de la topographie environnante ?

Ces facteurs sont discutés de manière plus détaillée dans les paragraphes suivants.

## **3.2. STABILITÉ PHYSIQUE**

### **3.2.1. Stabilité du barrage de stériles**

Il est essentiel de reconnaître qu'aucune stabilité – physique, chimique, sociale, écologique ou autre – ne peut être atteinte si les remblais qui endiguent les stériles ne restent pas eux-mêmes sûrs et stables. La stabilité physique des remblais d'endiguement des stériles doit donc constituer la toute première priorité.

Pour construire un barrage qui conservera sa stabilité sur le long terme, il faut tenir compte d'un certain nombre de paramètres qui peuvent avoir une influence sur les matériaux, les fondations ou les stériles, ou altérer les performances des filtres, des drains ou des revêtements. Il faut de plus envisager les effets cumulatifs de certains événements sur le long terme.

#### *Altération atmosphérique et dégradation des propriétés des matériaux*

L'altération atmosphérique due aux changements de température tels que les cycles de gel-dégel ou les grandes variations de températures ou d'humidité peuvent provoquer la dégradation des enrochements et des talus en diminuant leur densité ou en modifiant leur granulométrie et leur résistance. Dans certains environnements, l'activité biologique peut aussi réduire la perméabilité et les performances des filtres et des drains.

To achieve satisfactory conditions for sustainable closure at the conceptual and detail design stages, as a minimum, the following typical questions need to be asked:

- What will be the final form of the top and outer surfaces of the dam at the end of the active deposition phase? And how will the desired stable closure shape be achieved and maintained in the long term?
- What will be the loading conditions at closure and in the long term and how will these changes with time? Incorporate possible ultimate conditions into the primary design.
- What factors can affect the long term overall physical and chemical stability of the tailings and the embankment?
- What possible factors will a closure condition and long term condition hazard analysis reveal? How must these be addressed at design stage?
- How must the dam be designed to ensure sustainable hydraulic stability, particularly extreme flood management and climate change?
- How must the dam be designed to ensure long term ecological stability of the final dam surfaces and of the surrounding topography?

These factors are addressed more fully in the following sub-sections of this report.

## **3.2. PHYSICAL STABILITY**

### **3.2.1. Tailings Dam Stability**

It is essential to acknowledge that no form of long term physical, chemical, social, ecological or otherwise stability can be achieved unless the tailings embankment wall remains safe and stable. The physical stability of a tailings embankment must therefore be the first priority.

When designing for long term dam stability a number of conditions should be considered that may influence the material properties of the dam, foundation and tailings, or alter the performance of filters, drains, or liners. Additionally, cumulative effects of events over the long term should be considered.

#### *Weathering and Degradation of Material Properties*

Physical weathering due to temperature changes, such as freeze-thaw, or high temperature and moisture changes can lead to degradation of rock fill or soils that can reduce their density or modify their gradation and their effective strength. Biological activity in some environments can reduce the permeability and performance of filter and drains.

L'altération chimique due à l'oxydation des sulfures et à la percolation des précipités peut également entraîner l'obturation des filtres et des drains. Il est recommandé de ne pas utiliser de roches susceptibles de générer de l'acide dans la construction des barrages. En plus de provoquer un drainage acide, l'oxydation des sulfures dans les déchets d'enrochement peut conduire à une dégradation structurelle des roches et réduire la taille de leur grain, leur perméabilité et leur solidité pour finir par les fragmenter complètement (Cambridge, 2008).

### *Effets dus au stress et aux contraintes*

La consolidation à long terme des stériles et des matériaux de fondation meubles peut s'accompagner d'un tassement ainsi que d'une modification de la topographie qui peut altérer le mode de drainage et/ou provoquer des fissures dans la couverture sèche et donc affecter l'environnement. La consolidation peut également aboutir à une résistance accrue du barrage (qui augmente sa stabilité) ou à une réduction de sa perméabilité (qui peut réduire la percolation ou élever le niveau phréatique).

Pour les barrages de stériles construits sur des sols ayant tendance à se ramollir sous la contrainte, il est nécessaire d'envisager l'apparition de contraintes persistantes résultant de séismes ou de déformations statiques occasionnelles. La déformation possible des remblais, sur le long terme, doit être prise en considération lors de l'élaboration du plan de fermeture.

### *Érosion*

Une végétation adéquate devra être choisie pour la protection permanente des surfaces. Certaines espèces sont mieux adaptées que d'autres pour résister à des périodes de sécheresse et ont des systèmes racinaires plus à même de protéger la surface du sol contre l'érosion. Généralement, les facteurs supplémentaires suivants doivent être pris en considération :

- Dommages occasionnés par la faune ou les incendies
- Érosion éolienne et érosion hydrique
- Géométrie des talus visant à réduire l'érosion
- Dégradation des remblais due aux changements de température
- Effets dus aux activités humaines

### *Effets dus à la température*

Une hausse des températures, résultant du réchauffement climatique, peut provoquer le dégel du pergélisol ainsi que du noyau gelé de certains barrages ou remblais. À l'inverse, une baisse des températures peut entraîner le développement d'un pergélisol et le gel des drains.

Une évolution à long terme des températures peut s'accompagner de changements au niveau des précipitations et des orages qui auront une incidence sur le drainage, l'envasement et la végétation.

Chemical weathering due to oxidation of sulphides and seepage transport of precipitates can also lead to plugging of filters and drains. The use of potentially acid generating rock fill for dams is discouraged. In addition to acid drainage, oxidation of sulphide waste rock can lead to a breakdown of the rock structure, which can reduce its grain size, permeability, strength, and may turn the rock fill into soil. (Cambridge, 2008).

### *Stress and Strain Effects*

Long term consolidation of tailings and soft/loose foundation soils can lead to settlements and modification of the surface topography that can change drainage patterns and/or crack a dry cover, which will affect the environment. Consolidation can also lead to an increase in strength, (which increases stability), or a reduction in the permeability (which could reduce seepage or raise phreatic levels).

Tailings dams constructed on strain softening soils need to consider the potential for long term strains due to seismic events, or due to static deformations with time. Potential long term embankment deformations should be considered in the closure design.

### *Erosion*

Adequate vegetation shall be selected for permanent protection of the soil surfaces. Some species are more suitable and environmentally adapted to resist dry periods and have favourable root characteristics to better protect the soil surface against erosion. Generally; the following additional factors should be considered:

- Damage from wildlife or fire
- Wind and water erosion
- Geometry of slope to reduce erosion
- Fill degradation due to temperature changes
- Human effects.

### *Temperature Effects*

Higher temperatures due to global warming can lead to thawing of permafrost or frozen core dams/embankments. Conversely, lower temperatures can lead to permafrost development and freezing of drains.

Long term temperature changes may accompany changes in rainfall and storms, which will influence drainage, siltation and vegetation.

De longues périodes de chaleur ou de sécheresse peuvent engendrer une fissuration du sol par dessiccation permettant à l'eau de pénétrer la couverture sèche ou le noyau du remblai à la suite d'un orage.

### *Effets à long terme des séismes*

Le choix de la période de retour de dysfonctionnement pour les séismes (paragraphe 2.5) doit prendre en considération la durée de vie théorique envisagée après fermeture, qui est habituellement plus longue que pour un barrage de retenue d'eau conventionnel et peut atteindre 1 000 ans, voire plus. La possibilité de cumul des déformations après fermeture à la suite d'une récurrence plus élevée que prévue des événements sismiques doit être envisagée, en particulier dans les zones de sismicité élevée. Par exemple : si la durée de vie théorique après fermeture est de 1 000 ans, il se peut qu'il survienne durant cette période plusieurs séismes dont la période de récurrence est inférieure à celle du séisme pris comme référence. Ces séismes viennent donc s'ajouter à l'événement sismique de référence. Les connaissances en matière de séismes continuent à s'améliorer grâce à l'étude de la tectonique et au zonage sismique. L'expérience acquise sur la réponse des barrages aux séismes continue elle aussi à s'enrichir, parallèlement au développement des pratiques en matière de conception antisismique. L'approche basée sur la conception durable doit donc être conservatrice et viser la résistance du barrage de stériles confronté à un séisme de grande magnitude.

### *Matériaux géosynthétiques*

Il n'est pas certain que les matériaux géosynthétiques présentent un avantage pour les performances à long terme des barrages de stériles. La durée de vie théorique des géotextiles et des géomembranes reste incertaine et bien que certaines juridictions considèrent qu'elle peut aller jusqu'à 300 ans, aucune donnée n'existe pour permettre une extrapolation sur de longues périodes. Sur le long terme, les barrages de stériles doivent donc rester performants même si la géomembrane, les filtres ou les drains en matériaux géosynthétiques se dégradent avec le temps. Ces éléments doivent être alors devenus superflus ou des systèmes doivent pouvoir être mis en place pour atténuer l'effet de ces dégradations (CIGB, 1986).

### *Risques liés aux gradients hydrauliques et à l'érosion interne*

L'érosion interne des matériaux constituant les barrages en remblai constitue une défaillance critique et ces ouvrages doivent être conçus de manière à réduire le plus possible les gradients hydrauliques, en prévoyant notamment l'aménagement de filtres et de drains robustes. Les gradients hydrauliques peuvent être réduits en évitant d'installer une enveloppe amont trop perméable et en maximisant le dépôt des stériles contre la paroi amont du barrage. Le dépôt des stériles peut contribuer à colmater les fissures en cas de fracture ou d'érosion interne du noyau.

Les gradients peuvent de plus être réduits en maintenant loin du barrage le bassin d'eau présent à la fermeture, ce qui présente l'avantage supplémentaire de réduire les conséquences potentielles d'un glissement ou d'une érosion du barrage.

Extended hot/dry periods may lead to desiccation cracking, which can allow passage of water through the dry cover or the embankment core following a subsequent storm event.

### *Long Term Seismic Effects*

The selection of the design return period for the design seismic event (see paragraph 2.4) should consider the closure design life, which is typically higher than for a conventional water storage dam and could be 1 000 years or even more. The potential for cumulative deformations over the closure design life due to lower return periods should be considered, particularly in highly seismic areas. For example: during a 1 000 year closure design life there could be several earthquakes with a return period less than the design event. These would be in addition to the design seismic event. Knowledge of seismicity continues to evolve with time, both with ongoing studies of tectonics and seismogenic zonation; as does ongoing experience with dam response to earthquakes and developments in the state-of-practice of seismic design. The sustainable design approach should, therefore, consider the sensitivity of the tailings dam to larger events and should be conservative.

### *Geosynthetics*

The reliance of geosynthetics for long term performance of the tailings dam is uncertain. The potential design life of geotextiles and geomembranes is still uncertain and although some jurisdictions will consider up to 300 years, performance records do not exist to extrapolate too far into the future. In the long term, therefore, the tailings dam should be able to perform in the event that the geomembrane liner or geosynthetic filters or drains degrade with time and either their function is no longer required or systems can be implemented to mitigate their effect. (ICOLD, 1986).

### *Hydraulic Gradients and Piping Risks*

Piping of materials in an embankment dam is a critical failure scenario and the design of the tailings dam should consider the opportunity for reducing hydraulic gradients and constructing robust filters and drains. Hydraulic gradients can be reduced by such measures as avoiding the placement of high permeability upstream shell and by maximizing the placement of tailings against the upstream side of the dam. The placement of tailings has the potential to act as a crack sealer in the event of fracturing of or piping through the core.

Additionally, gradients can be reduced by maintaining the final closure water pond away from the dam, which also has the added benefit of reducing the potential consequence of a dam slip or erosion.

L'efficacité à long terme des filtres et des drains peut également être affectée par une géochimie ou des conditions physiques défavorables.

#### *Drains et niveaux piézométriques*

La performance à long terme des drains doit être prise en considération, compte tenu des effets potentiels d'une érosion évoqués dans les paragraphes précédents. Le barrage doit être conçu pour survivre à une perte d'efficacité des drains avec le temps et à l'effet d'une telle détérioration sur le niveau piézométrique. On peut envisager la construction d'un talus moins pentu, plus propice au maintien de la stabilité, et la création de gradients de sortie qui limitent les possibilités d'érosion interne.

### **3.2.2. Stabilité hydraulique**

#### *Introduction*

La stabilité hydraulique des barrages de stériles est une composante essentielle du volet sécurité des plans de fermeture et de la durabilité à long terme des ouvrages. La conception hydraulique et la gestion sécuritaire des eaux de surface, en particulier dans des conditions extrêmes, dépendent d'un certain nombre de facteurs allant des changements climatiques aux risques naturels et anthropiques. Les paragraphes suivants présentent une description des principaux éléments de conception liés à la stabilité hydraulique à long terme.

#### *Changements climatiques*

Une science des « changements climatiques » est en train d'émerger et un certain nombre de juridictions tentent de modéliser ces changements de manière à mieux prévoir l'évolution possible du régime des précipitations et des températures. Ces changements varient en fonction de la géographie, certaines régions devant faire face à un temps plus sec tandis que d'autres sont confrontées à des conditions plus humides. Le changement du régime des précipitations peut se traduire par une fréquence plus élevée d'événements violents, ce qui devra motiver une rectification du débit maximum théorique envisagé pour les ouvrages d'évacuation de l'eau.

Les changements climatiques pourraient également affecter les vitesses d'évaporation et la configuration des vents, facteurs à prendre en considération pour déterminer l'équilibre hydrique à atteindre après fermeture des barrages et la performance à long terme des couvertures et de la végétation.

Plus la période couverte par les données météorologiques concernant le site est longue, plus fiables seront les facteurs hydrologiques utilisés lors de la conception du barrage et plus facile sera l'évaluation des impacts dus aux changements climatiques. Dans de nombreuses juridictions, il est nécessaire de recueillir les données de référence du site minier durant l'évaluation environnementale et, dans la plupart des cas, des données météorologiques durant l'exploitation et après la fermeture pour qu'un ensemble de données spécifiques au site puisse être recueilli et qu'un étalonnage avec des ensembles de données régionales plus conséquents puisse être effectuée.

The long term function of filters and drains may also be impaired by adverse geochemistry or physical conditions.

### *Drains and Piezometric Levels*

The long term performance of drains needs to be considered in view of many of the potential effects discussed in the previous sections. The design should consider the potential for the drain to become less effective with time and the effect that could have on the piezometric level. This could include a flatter dam slope to maintain the stability and an assessment of the exit gradients that could limit the potential for piping.

## **3.2.2. Hydraulic Stability**

### *Introduction*

The hydraulic stability of the tailings dam is an essential component of the safe closure and long term sustainability. The hydraulic design and safe management of surface waters, particularly under extreme conditions, incorporate a number of variables ranging from climate change to natural and man-made hazards. The following sections describe the key design considerations with respect to long term hydraulic stability.

### *Climate Change*

A “climate change” science is developing and a number of jurisdictions have carried out climate change modelling to help predict, for example, potential changes in precipitation and temperature. These changes vary geographically, with some areas experiencing drier weather and some experiencing wetter conditions. Precipitation changes may include the likelihood of more frequent, higher intensity events, which will modify the peak flow design basis.

Climate change may also modify evaporation rates and wind patterns, which should be considered in the closure water balance and with the long term performance of covers and vegetation.

The longer the available data-set for the facility, the more reliable the hydrological factors used in the design and the greater the options for assessing impacts of climatic changes. In many jurisdictions it is necessary for baseline data for the mine site to be derived during the Environmental Assessment and, at most sites, meteorological monitoring is required during operations and post closure so that site-specific data sets and calibration with larger regional datasets can be carried out.

De plus, de récents progrès dans le domaine de la modélisation hydrologique et climatique à l'échelle du globe ont fourni aux ingénieurs de nouveaux outils qui peuvent être utilisés pour définir les paramètres de fermeture ainsi qu'identifier, évaluer et atténuer les risques hydrologiques.

Le Comité sur les changements climatiques et sur les barrages, les réservoirs et les ressources en eau associés de la CIGB a préparé un rapport sur le sujet intitulé : Potential Challenges and Adaptations for the 21st Century Water Resources Engineer (2010) (Défis et adaptations possibles pour l'ingénieur en ressources hydriques du 21<sup>e</sup> siècle).

### *Conception des déversoirs*

Les déversoirs sont nécessaires pour permettre le passage contrôlé des écoulements de crue qui traversent la surface des dépôts de stériles. Une défaillance des déversoirs peut entraîner une érosion importante et, dans le pire des cas, la rupture du barrage. Les facteurs à prendre en compte pour la conception d'un déversoir de longue durée de vie sont les suivants :

- Il faut éviter d'utiliser des structures de décantations et des ouvrages de vidange de fond (enterrés) pour la fermeture à cause des risques à long terme de dégradation du béton, de dommages sismiques, de changements dans les contraintes appliquées, etc.
- Autant que possible, les déversoirs doivent être aménagés de manière à minimiser la hauteur de chute et donc réduire l'énergie à disperser.
- L'utilisation de béton devrait être évitée pour réduire le risque, à long terme, de dégradation et donc d'avoir à entretenir l'ouvrage. Si l'on utilise du béton, il faut prêter une attention particulière à la qualité de l'agrégat et aux proportions du mélange de manière à maximiser la durée de vie théorique de l'ouvrage. Des roches compétentes naturelles provenant du substrat rocheux ou des roches compétentes provenant d'une carrière doivent être préférentiellement utilisées pour la protection des déversoirs contre l'érosion.
- La période de retour de dysfonctionnement du déversoir pour la crue nominale doit tenir compte de la période de fermeture à long terme et le risque de défaillance. Le débit d'équipement doit également tenir compte des avantages présentés par le détournement des eaux de crue.
- Des considérations sur le long terme doivent donc tenir compte de la possibilité de sédimentation dans le bassin d'eau libre et des risques géologiques tels que des glissements de terrain ou des éboulements qui pourront réduire la capacité de détournement des eaux de crue. Dans ces cas, le déversoir peut être conçu pour un débit maximal non détourné ou une capacité supplémentaire de stockage (revanche) peut être fournie pour permettre la réduction du stockage à longue échéance. Les débits d'équipement doivent également tenir compte de la probabilité que les canaux de dérivation s'obturent durant la crue nominale à cause de la dégradation naturelle des canaux, de la chute d'arbres ou de débris, d'un blocage par la glace, de l'instabilité des pentes ou de l'érosion.

Further, recent advances in global hydrological and climatic modelling provide the designer with additional tools that can be used to define the parameters for closure and should enable hydrological risks to be identified, assessed and mitigated.

The ICOLD Committee on Climate Change has produced a paper on the subject titled: Potential Challenges and Adaptations for the 21st Century Water Resources Engineer (2010).

### *Spillway Design*

Spillways are required to safely pass flood flows from the surface of the tailings and failure of the spillway can lead to significant erosion or, in the worst case, failure of the dam. Some of the design considerations that should be integrated into the long term design of the spillway include the following:

- The use of decant structures and low-level (buried) outlets should be avoided for closure due to the long term risks of concrete degradation, seismic damage, stress changes, etc.
- As far as practicably possible, spillways should be sited to minimize the elevation drop to reduce the energy.
- The use of concrete should be avoided to reduce the potential for long- term degradation, and hence long term maintenance. If concrete is used, special consideration should be given to the aggregate quality and the mix design to maximize the design life. Natural competent in-situ bedrock or quarried competent rock should preferentially be used for spillway erosion protection.
- The design return period for the Inflow Design Flood for the spillway should consider the long term closure period and the risk of failure. The design flow also typically considers the benefit of flood routing.
- Long- term considerations, therefore, need to include the potential for sedimentation of the free water pond, or geo-hazards such as landslides or rockslides, that could reduce the flood routing capacity. In these cases the spillway could be designed for the peak un-routed flow or additional storage capacity/freeboard could be provided to allow for the potential reduction in storage over the long term. The design flows also need to consider the likelihood that diversion channels could be blocked during the design flood either due to natural degradation of the channels or due to fallen trees, debris, ice blockage, slope instability, or erosion.

- Les débits d'équipement doivent aussi être modifiés lorsque l'urbanisation augmente ou que la perte de végétation entraîne une augmentation des coefficients de ruissellement.
- Le déversoir doit être positionné de manière à minimiser les géorisques. Lorsqu'un tel positionnement est impossible, le déversoir doit être d'une taille telle qu'un blocage partiel n'ait pas d'incidence néfaste sur l'évacuation des eaux. Sinon, l'aménagement d'un déversoir de secours doit être envisagé.
- En hiver, le gel peut bloquer le déversoir par la formation de glace. Cet effet peut être atténué en aménageant dans le déversoir une section à capacité réduite dans laquelle se concentreront les écoulements hivernaux plus faibles qui auront moins tendance à geler. Le gel doit également être pris en considération dans le contexte des changements climatiques qui pourraient altérer les conditions sur le long terme.

### *Contrôle de l'érosion sur le long terme*

Le terrain réhabilité après fermeture du site ne doit pas être endommagé par l'érosion et la formation de rigoles susceptibles de détruire les couvertures et d'exposer les stériles à l'oxydation et à la dégradation, ce qui pourrait avoir des conséquences environnementales négatives.

Le contrôle de l'érosion sur le long terme est nécessaire pour maintenir l'intégrité du barrage de stériles et il ne faut pas hésiter à imiter la nature en concevant un barrage géomorphologiquement stable à longue échéance. Le modèle naturel peut aussi être appliqué pour la création d'une topographie naturelle susceptible d'améliorer la stabilité écologique et l'acceptabilité sociale et esthétique du site.

Le contrôle de l'érosion sur le long terme doit tenir compte des aspects suivants :

- Le talus du barrage de stériles peut être concave afin de réduire les forces érosives des écoulements qui s'accumulent au pied du barrage.
- L'utilisation de matériaux compétents, inertes et résistants à l'érosion doit être évaluée en tenant compte du fait qu'elle peut amoindrir l'esthétique du barrage ou réduire les possibilités de mettre en place une couverture végétale. L'utilisation de couvertures végétales doit tenir compte de la stabilité écologique à long terme, comme discuté dans la section 3.4.
- Il faut envisager de prolonger la crête amont du barrage de stériles jusqu'à la retenue grâce à des remblais. Une telle modification permet de diminuer les risques d'érosion aval de la crête.
- La présence d'autres cours d'eau près du pied du barrage peut nécessiter des mesures de protection contre l'érosion ou une diversion permanente des cours d'eau en cause pour éliminer les risques associés aux éventuelles crues importantes.
- Sur le long terme, une couverture « humide » aménagée après fermeture finit toujours par se combler par sédimentation et se transforme alors en couverture sèche, ou possiblement en marécage.

- Design flows may also be modified by increased urbanization or loss of vegetation, which may lead to higher runoff coefficients.
- The spillway should be sited to minimize potential risks due to geo-hazards. Where this is not possible, the spillway should be sized to allow blockage or an alternate emergency spillway should be considered.
- Freezing of spillway flows during the winter can lead to glaciation and blocking of the spillway. This could be mitigated with a special reduced capacity spillway section which will concentrate winter low flows to reduce freezing effects. Freezing is also a consideration with respect to climate change, which could alter conditions over the long term.

### *Erosion Control for the Long Term*

The final rehabilitated profiles should not be damaged by erosion and gully formation, destroying the closure profile and capping, and potentially exposing tailings to oxidation and degradation with the resulting negative environmental consequences.

Erosion control for the long term is required to maintain the integrity of the tailings dam and consideration should be given to mimicking nature by designing a dam which is geomorphologically stable over the long term. Mimicking nature can also be a consideration with respect to creating natural landforms that can improve ecological stability and social/aesthetic acceptance.

Considerations for long term erosion control include the following:

- The slope of the tailings dam may be concave to reduce the erosive force of runoff accumulating towards the toe of the dam.
- The use of competent, inert, erosion resistant materials, such as rock fill or coarse gravels, needs to be considered with respect to the potential reduction in the ability to develop vegetation or with the visual aspect of the dam. The use of vegetation covers need to consider the long term ecological stability as discussed in Section 3.4.
- Consideration should be given to extending the upstream crest of the tailings dam into the impoundment with the placement of fill. This can mitigate the potential for downstream erosion of the crest.
- Erosion of the tailings dam due to other water courses located near the toe of the dam may require erosion protection or permanent diversion for potential extreme events occurring in the water course.
- In the long term a small lake, i.e. water cover closure will be taken over by the sediments produced and finally change to a dry cover deposit or maybe a wetland cover.

### 3.2.3. Risques géologiques et autres

Chaque barrage de stériles est exposé à des dangers spécifiques qui dépendent du site et de ses caractéristiques géologiques, climatiques, environnementales et sociales. La conception durable du barrage doit donc prendre en compte la possibilité d'occurrence d'événements isolés mais aussi celle d'une accumulation d'événements qui peuvent survenir après la fermeture du site. Les dangers potentiels à prendre en compte sont notamment :

*Les glissements de terrain, les éboulements, les avalanches et les coulées de débris*

Ces phénomènes peuvent être déclenchés par des précipitations abondantes ou des séismes.

Les glissements de terrain et les avalanches peuvent donner naissance à une onde de crue dans la retenue d'eau, si ce type de couverture a été retenu lors de la fermeture du barrage de stériles. Une revanche supplémentaire peut donc s'avérer nécessaire pour empêcher tout débordement.

Les coulées de débris peuvent bloquer les déversoirs ou les canaux de dérivation et aussi entraîner un débordement. Il est possible de minimiser les risques de blocage d'un déversoir en le concevant de manière très conservatrice et en lui conférant une structure très robuste. Une autre solution, si elle est réalisable, consiste à construire un second déversoir dit « de secours », pour les crues extrêmes, qui vient s'ajouter au déversoir conçu pour les événements dont la période de récurrence est plus courte (voir aussi la section 3.2.2 Stabilité hydraulique).

*Faune*

La faune peut avoir un impact négatif sur l'évolution à long terme d'un barrage de stériles après sa fermeture, quelle que soit la méthode mise en œuvre pour fermer le site. Des animaux peuvent creuser des galeries dans le noyau du barrage ou dans la couverture sèche et nuire ainsi sérieusement au plan de fermeture (perte de la couverture humide ou perforation de la couverture sèche). Parmi les autres impacts négatifs potentiels de la faune, on peut citer la dégradation de la végétation par surpâturage, qui peut entraîner la perte totale de la couverture végétale et des dommages ultérieurs par érosion.

Le barrage de stériles de Matachewan, au Canada, est un exemple d'impact de la faune qui a provoqué la défaillance du barrage après que des castors eurent construit un barrage dans le déversoir, entraînant un débordement de l'ouvrage. (McKenna G, Keys M & van Meer R, 2000). Une conception à long terme doit inclure des mesures d'atténuation de tels effets. Cet incident met également en lumière la nécessité d'effectuer des inspections régulières des barrages sur le long terme.

*Flore*

Avec le temps, la végétation présente dans la zone qui entoure le barrage de stériles peut envahir l'ouvrage alors qu'il atteint son équilibre naturel. Si cette végétation est constituée d'arbres, en particulier de gros arbres dotés de racines imposantes, celles-ci risquent de pénétrer le noyau du remblai ou le système de

### 3.2.3. Geo and Other Hazards

Every tailings dam will be subject to site-specific hazards, depending on the geological, climatic, environmental and social setting. The sustainable design, therefore, needs to consider the potential for both single event and cumulative event hazards that could occur over the long term phase, i.e. the closure design life. Examples of potential hazards to consider include the following:

#### *Landslides, rock and snow avalanches, and debris flows*

These hazards could be triggered by extreme precipitation or seismic events.

Landslides or avalanches may create a flood wave in the closure tailings lake, if water cover is used, so additional freeboard on the tailings dam may be required in order to prevent overtopping.

Debris flows may block spillways or diversion channels, leading to overtopping. The potential blockage of the spillway can be mitigated with a very robust and conservative spillway design. Alternatively, it may be feasible to construct a secondary emergency spillway for extreme floods in addition to a spillway for shorter return period events (See also Section 3.2.2 Hydraulic Stability).

#### *Fauna*

Fauna can have negative effects on the long term tailings dam condition independent of the closure method. Animals may burrow through the dam core or the dry cover resulting in severe damage to the closure design, i.e. lost water cover or punctured dry cover. Other site-specific effects may include vegetation degradation due to overgrazing by wildlife, which can lead to loss of vegetation and erosion damage.

Another example of animal effects is the Matachewan tailings dam in Canada, which failed when beavers constructed a dam in the spillway and the dam overtopped. (McKenna G, Keys M & van Meer R, 2000). Design for the long term should include mitigation for such potential effects. The need for regular dam inspections in the long term is also highlighted by this incident.

#### *Flora*

During the long term, vegetation in the surrounding area may “over take” the tailings dam as it reaches its natural equilibrium. If this vegetation consists of trees, especially large/tall trees with extensive root systems, there is the risk that they may penetrate the embankment core or the cover system. They may also fall resulting in

couverture. Ces arbres peuvent aussi tomber et endommager le remblai d'endiguement des stériles ou la couverture sèche, ou même bloquer le déversoir. Comme il est impossible, sur le long terme, d'empêcher la végétation de pénétrer sur le périmètre du barrage de stériles, le plan de fermeture doit tenir compte de cette éventualité. Réciproquement, dans les climats arides ou les régions soumises à des extrêmes climatiques, il se peut que la couverture végétale mise en place lors de la fermeture ne soit pas durable.

### *Humains*

L'impact humain peut inclure une utilisation inappropriée des terres, des activités d'excavation sur les couvertures sèches ou les remblais d'endiguement des stériles et le prélèvement de matériaux faisant partie de la structure des déversoirs ou des remblais. Parmi les autres impacts humains possibles, on peut citer l'extraction minière artisanale locale, le sabotage et le vandalisme. Il est difficile de gérer stratégiquement ce type d'impacts à long terme. Il n'est pas possible d'interdire perpétuellement l'accès au public. Les barrières et autres structures ne durent pas indéfiniment et il faut donc imposer des restrictions sur les activités mises en œuvre dans le secteur. Cela suppose la présence permanente d'une autorité responsable, par exemple le propriétaire ou l'État, qui devra garantir et contrôler l'utilisation appropriée des terrains en question.

### **3.3. STABILITÉ CHIMIQUE**

La stabilité chimique à long terme des barrages de stériles dépend du possible transfert de contaminants potentiellement dangereux dans le milieu récepteur par l'intermédiaire de l'eau, de suintements, de l'air ou par voie biologique, par l'intermédiaire de plantes et via la relation source-récepteur. Les objectifs afférents à la stabilité chimique varient en fonction des objectifs écologiques et sociaux et doivent être établis au cas par cas. La qualité des eaux d'infiltration peut par exemple être un facteur plus important lorsque des espèces sensibles, telles que des poissons, sont présentes dans le milieu récepteur.

Le lessivage neutre des métaux, des non-métaux et d'autres éléments peut s'effectuer lorsque l'eau de surface ou l'eau souterraine passe autour des solides. De plus, les sulfures, lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène et à l'air, peuvent s'oxyder et donner ainsi naissance à un drainage acide et à une libération de métaux. Le drainage rocheux acide (DRA) et le lessivage neutre (la lixiviation) des métaux peuvent devenir des problèmes sérieux pour les barrages de stériles et la durabilité à long terme de ces ouvrages dépend alors de la mise en place de mesures d'atténuation appropriées.

Les différents aspects à prendre en considération sur le long terme sont notamment les suivants :

#### *Effets dus au DRA et à la lixiviation*

Les risques de DRA peuvent être réduits de manière significative en saturant les stériles en eau. Cette solution peut toutefois avoir des effets secondaires tels

damage to the tailings embankment or the dry cover or even spillway blockage. As it is impossible to prevent vegetation from entering the tailings dam during the long term phase the design should allow for these events. Conversely, in arid climates or areas subjected to extreme climate change, vegetation established at closure may not be sustainable.

### *Humans*

Effects of humans could include improper land use, excavation in dry covers or tailings embankments, removals of materials, such as spillway rock or dam fill. Other potential effects include local artisanal mining, potential sabotage or vandalism. It is difficult to deal with these impacts when the long term is being considered. Preventing access to people is not a long term option. Fences or other structures will not last indefinitely resulting in the requirement for restrictions on activities in the area. This requires the permanent presence of a responsible authority, e.g. the owner or the State, who can guarantee and control proper land use.

## **3.3. CHEMICAL STABILITY**

The long term chemical stability of the tailings dam considers the potential transfer of contaminants of potential concern into the receiving environment via water, seepage, air, or biologically through plants via the source-receptor relationship. The objectives of chemical stability vary with respect to the ecological and social objectives, and need to be determined on a site-specific basis. For example, the quality of seepage water may be more important where sensitive receiving species, such as fish, are present.

Neutral leaching of metals, metalloids, and other elements can occur as surface or groundwater leaches the solids. In addition, sulphides, if exposed to oxygen and air, can oxidize leading to acidic drainage and release of metals. Acid rock drainage and neutral metal leaching (ARD/ML) can be significant issues with tailings dams and long term sustainability must incorporate appropriate mitigation measures.

Long term considerations should include, but not be limited to, the following:

### *Mitigation of ARD/ML*

The potential for ARD can be significantly reduced by saturating the tailings. This solution may, however, have other consequences such as high phreatic surfaces

qu'un relèvement du niveau phréatique qui peut affecter la stabilité de l'ouvrage et augmenter les phénomènes d'infiltration. Pour certains stériles, il est également possible de séparer les sulfures au cours du traitement du minerai et de gérer ensuite séparément les stériles neutres et les stériles contaminés. Il est également possible de minimiser les infiltrations sur le long terme en adoptant des techniques de dépôt des stériles appropriées qui visent à tirer un profit maximal des propriétés bénéfiques des stériles ou en utilisant des revêtements ou des couvertures conçues pour réduire les infiltrations ou maintenir la saturation du milieu. Les performances des couvertures ne peuvent néanmoins être assurées sur le long terme à cause des différents processus physiques qui peuvent intervenir. Les changements climatiques peuvent de plus limiter les possibilités de maintenir une couverture saturée sur le long terme.

### *Effets dus aux infiltrations*

Les stériles solides et l'eau de procédé résiduelle qui les baigne et qui forme le bassin de décantation peuvent libérer des contaminants dans le milieu récepteur. L'eau de procédé peut également contenir des réactifs d'extraction du minerai, tels que des cyanures, des xanthènes, des nitrates, etc. L'infiltration à long terme de l'eau interstitielle présente dans les stériles, soit dans le talus du barrage soit dans ses fondations, peut varier suivant l'évolution des gradients hydrauliques causée par la consolidation des stériles ou la dégradation des revêtements géosynthétiques ou des barrières de faible perméabilité.

La remontée éventuelle d'eaux d'infiltration dans le bassin de décantation peut survenir à la suite d'une consolidation ou de gradients régionaux dans la nappe phréatique. À long terme, il faut tenir compte d'une possible augmentation de la charge chimique par accumulation de l'eau interstitielle ou au contraire l'évacuation complète de l'eau interstitielle par lessivage avec réduction importante de la charge géochimique.

Les systèmes de contrôle à long terme de l'infiltration doivent être passifs et ne nécessiter, par exemple, aucun puits de récupération actifs doté d'un système de recirculation vers le barrage ou vers une station de traitement des eaux.

### *Effets biologiques*

Des effets biologiques à long terme peuvent survenir lorsque le mouvement capillaire de l'eau fait que les plantes parviennent à capter par leurs racines des métaux provenant des stériles. Bien que ces effets puissent être atténués grâce à l'utilisation de couvertures, d'autres écosystèmes doivent être évalués comme couvertures potentielles, comme discuté dans la section 3.4.

### *Matériaux de remblais*

Même avec l'utilisation de matériaux neutres (ne donnant lieu ni au drainage acide ni au drainage neutre des roches), des contaminants résiduels susceptibles d'être problématiques peuvent toujours être présents. Le transport et le sort de ces

affecting stability and increasing seepage. For some tailings it is also possible to separate the sulphides in the milling process and manage the barren and contaminated tailings separately. Other mitigation works include minimising long term seepage by appropriate use of tailings deposition techniques that maximise the beneficial tailings properties or the use of liners or covers, which can be designed to reduce infiltration or maintain saturation. The long term performance of covers is uncertain due to the physical processes that can occur. Additionally, climate change over time may limit the ability to maintain a saturated cover.

### *Seepage Effects*

Both the tailings solids and the residual process water in the tailings voids and tailings pond have the potential to release contaminants into the receiving environment. The process water may also contain milling reagents, such as cyanide, xanthenes, nitrates, etc. Long term movement of tailings pore water, either through the dam or foundation, can be influenced by changing hydraulic gradients due to consolidation of tailings or to degradation of geosynthetic liners or low permeability barriers.

Movement of seepage water upward into the tailings lake, if present, can occur due to consolidation or to regional groundwater gradients. Long term considerations include the potential for either increased chemical loads as a result of the existence of cumulative pore waters, or at the other end of spectrum, complete leaching of the pore water, with a commensurate reduction in geochemical loading.

Seepage control systems for the long term should be passive and not require, for example, active collection wells with pump-back, or water treatment systems.

### *Biological Effects*

Long term biological effects can occur with uptake of metals from the tailings via the plant root system and capillary movement of water. While these effects can be mitigated with covers, alternate ecosystems should be assessed as discussed in Section 3.3.

### *Embankment Materials*

While the use of neutral materials is preferred (non ARD/ML), residual or low-level contaminants of potential concern may be present and their possible long term transport and fate needs to be mitigated in the design. All materials to be used

contaminants doivent être pris en compte lors de l'étape de conception du barrage. Tous les matériaux utilisés pour la mise en œuvre du plan de fermeture doivent être inertes et géochimiquement stables et ils ne doivent pas contribuer à augmenter la charge en contaminants du système.

#### *Lacs de barrages de stériles*

Dans certains cas, il peut être préférable de former un lac sur la zone de dépôt de stériles lors de la fermeture, une solution discutée dans la section 3.3 : Stabilité écologique à long terme. La qualité de l'eau à long terme dans le lac dépendra de la possible migration de contaminants potentiellement préoccupants des stériles vers le plan d'eau. Ce processus sera influencé par des phénomènes d'inversion de la température dans les eaux du lac, de la quantité d'oxygène dissous qui atteindra les stériles et/ou de la possible remise en suspension des particules fines pouvant mener à des concentrations élevées de solides en suspension. La qualité de l'eau dans le lac peut être améliorée par l'apport naturel de sédiments et le développement à long terme d'un habitat benthique sur le fond du lac ou par l'aménagement de marécages autour du lac.

#### *Effets des poussières*

L'effet des poussières peut être atténué grâce à la mise en place d'une couverture végétale durable à long terme ou de couvertures jouant le rôle de barrières physiques, telles que des couvertures en graviers grossiers ou en rochers. Il est nécessaire d'envisager la possibilité et les conséquences d'une éventuelle dégradation de la couverture. (Scott Wilson Mining et al, 2005)

#### *Traitement de l'eau*

Autant que possible, les barrages de stériles doivent être conçus de manière à ne nécessiter aucun système de traitement des eaux (d'infiltration ou de surface). Cependant, lorsqu'il est impossible de faire autrement, il peut s'avérer nécessaire de mettre en œuvre des systèmes de traitement de l'eau qui seront soit des systèmes passifs soit des systèmes ne nécessitant qu'un faible niveau de gestion, d'entretien et de surveillance. L'entreposage à long terme des boues produites lors du traitement des eaux d'exhaure doit être soigneusement planifié et peut éventuellement s'effectuer à l'intérieur du barrage de stériles.

### **3.4. STABILITÉ ÉCOLOGIQUE**

L'écologie à long terme d'un barrage de stériles et de la zone environnante doit être compatible avec l'utilisation prévue des terres et réciproquement, cette utilisation doit tenir compte de l'écologie de la région. Pour qu'une zone écologiquement stable à long terme puisse être développée, il est nécessaire d'évaluer l'environnement et l'écologie du site, c'est-à-dire les écosystèmes existants, en analysant en particulier le climat, les propriétés des matériaux présents, la végétation, la faune, la fréquentation humaine, etc., à la fois sur les terres et dans l'eau. L'éventuelle évolution de ces éléments sur le long terme doit aussi être prise en considération et les effets au besoin atténués.

during the implementation of the closure strategy must be inert/geochemically stable and should not add to the potential contaminant loading of the system.

### *Tailing Lakes*

With some closure scenarios it may be desirable to develop a lake on the tailings surface on closure, and this is discussed under Section 3.3: Long Term Ecological Stability. The long term water quality will need to consider the potential migration of contaminants of potential concern from the tailings into the lake. This may also include temperature inversion of the lake, dissolved oxygen reaching the tailings, and/or potential for re-suspension of fines leading to high suspended solid concentrations. The lake quality may also be improved by the beneficial advantages of natural sediment inflow and the long term development of benthic/aquatic habitat on the lake bottom or by the construction of wetlands around the lake perimeter.

### *Dust Effects*

Dust effects can be mitigated with long term sustainable vegetation cover, or with physical barrier covers using granular fills, such as coarse gravel or rock fill. The possibility and consequence of degradation of the cover should be considered. (Scott Wilson Mining et al, 2005)

### *Water Treatment*

As far as possible, the design of the tailings dam should not require long term treatment of water (either seepage or surface). However, in circumstances where this is not possible it may be necessary to implement water treatment systems that can either be passive or require low levels of operation, maintenance and surveillance. The long term storage of sludge produced from mine water treatment needs to be carefully considered and could potentially be contained within the tailings dam.

## **3.4. ECOLOGICAL STABILITY**

The long term ecology of the tailings dam and its surrounds needs to be consistent with the planned land use and conversely, the planned land use needs to be consistent with the possible ecology in the region. To be able to develop a long term, ecologically stable area, the surrounding environment and ecology, i.e. the existing ecosystem, must be interpreted with regard to climate, material properties, vegetation, animals, humans etc. both on land and under water. The possible long term changes to these aspects should also be considered and mitigated.

Il arrive qu'on ne considère l'interaction entre un barrage de stériles (en fait, l'ensemble du site minier) et l'écosystème local que par rapport aux impacts environnementaux et à la préservation du milieu et non pas en termes de durabilité. Les sites d'extraction minière sont souvent perçus comme étant irrémédiablement destructeurs et donc incompatibles avec n'importe quel écosystème. Ce n'est pas forcément le cas et plusieurs exemples le prouvent dans l'industrie minière. Bien que le développement d'un site minier puisse être localement et temporairement perturbateur pour les écosystèmes, il est possible, moyennant une gestion appropriée, d'atténuer les effets de n'importe quelle altération grâce à une planification et une conception méticuleuses. L'expérience montre que lorsqu'une mine est exploitée conformément aux principes de durabilité à long terme, en particulier pour ce qui est des émissions, il est plus facile de régénérer, voire d'étendre, plusieurs sections de l'écosystème local.

Les sites miniers et les barrages de stériles sont généralement enclos durant l'exploitation du site, par des barrières naturelles ou artificielles, de manière à empêcher tout accès non autorisé. Ce confinement peut faciliter la protection et la préservation de certains secteurs situés sur le site et donc contribuer à la préservation d'une certaine partie de l'écosystème local. Il se peut même que l'écosystème prospère aux abords directs de la mine. La construction de clôtures autour du site et l'interdiction ultérieure d'y chasser et d'y mener d'autres activités destructives peuvent favoriser certains éléments de l'écosystème et contribuer à la création d'un environnement durable sur le plan écologique durant et après la fermeture.

Une planification et une surveillance minutieuse du fonctionnement du barrage de stériles et de l'environnement immédiat durant l'exploitation du site sont nécessaires pour la préparation d'un plan de fermeture durable. Ce plan doit être mis à jour régulièrement, entre l'étude de faisabilité et la fermeture finale, de manière à tenir compte des changements qui peuvent toucher l'écologie locale et d'éventuels nouveaux effets, bénéfiques ou néfastes. Si le plan de fermeture n'est pas mis à jour, des problèmes peuvent survenir du fait d'un conflit entre les activités de fermeture et la situation réelle du site, en particulier lorsqu'une flore ou qu'une faune opportuniste l'a colonisé.

### **3.5. STABILITÉ SOCIALE**

La stabilité sociale à long terme au voisinage d'un barrage de stériles va de paire avec la stabilité physique, chimique et écologique du site. L'atteinte d'un certain niveau de stabilité sociale commence par la définition d'objectifs spécifiques en matière d'utilisation des terres et de l'eau qui encouragent l'utilisation durable du barrage de stériles. Un avantage de cette approche du point de vue de la durabilité est que si la communauté soutient l'utilisation prévue des terres et de l'eau, le barrage de stériles aura plus de chances d'être entretenu après sa fermeture et la valeur de la propriété reviendra plus probablement à la communauté (ou à l'État).

Parmi les mesures contribuant à la durabilité sociale, on peut citer : l'utilisation des lacs créés sur les dépôts à des fins de loisir, pour l'approvisionnement en eau ou l'aménagement de mini-centrales hydroélectriques et la création de cours de golf, de

The interaction between a tailings dam (and the whole mine site) and the local ecosystem is sometimes considered only in the context of environmental impact and preservation, not in terms of sustainability. The perception of mine sites is often that they are terminally destructive and thus not compatible with any natural systems. This need not be the case, as demonstrated by examples from many mines. Although the development of a mine site can be locally and temporarily disruptive to ecosystems, any impairment may, with proper management, be fully mitigated by careful planning and design. However, there is strong evidence to show that once the mine site is operating in accordance with long term sustainable design principles, particularly with respect to emissions, it often becomes conducive to the regeneration, or indeed the expansion, of sections of the ecosystem.

Mine sites and tailings dams are generally enclosed during operation, either by physical or manmade barriers in order to prevent unauthorised access. This confinement may also lead to protection and preservation of areas within the mine confines, which may then result in a proportion of the local ecosystem being preserved. At the mine periphery the local ecosystem may even be thriving. Enclosure of land and the subsequent prevention of hunting and other destructive pursuits may encourage ecological opportunism, which can help in creating a sustainable ecological environment during and after closure.

Careful planning and monitoring of the function of the tailings dam and the surrounding environment during operation is necessary in order to finalise a sustainable closure design. The closure plan must be updated on a regular basis from feasibility design up to final closure in order to accommodate or make allowance for any changes in the local ecology and recognition of any new beneficial or negative impacts. Failure to modify the closure plan may lead to problems where the permitted closure does not allow for, or may be in direct conflict with, these changes, particularly in the case of opportunistic flora or fauna colonisers.

### **3.5. SOCIAL STABILITY**

Long term social stability in the tailings dam vicinity is integral to physical, chemical and ecological stability. Social stability begins with the development of site-specific land use and water use objectives that support long term sustainable use of the tailings dam. An important sustainable benefit of this approach is that if the community supports the land and water use, there is a much higher likelihood that the closed tailings dam will be maintained and that the value of the property can revert to the community (or State).

Examples of social sustainability could include: use of tailing lakes as recreation lakes or for water supply or mini-hydro projects; use of tailings surfaces for golf courses, playing fields or use of tailings dams for habitat or ecological reserves.

terrains de jeux ou de réserves écologiques sur les anciens dépôts. Pour ce qui est des scénarios les moins durables, on peut citer la nécessité d'entretenir activement un site éloigné en faisant appel à une main-d'œuvre non formée, l'apparition d'effets néfastes pour l'environnement local (p. ex. dégradation de la qualité de l'eau, poussières), la probabilité élevée associée à un géorisque, etc.

Parallèlement à la stabilité sociale, il est bon de réduire fortement les risques associés à la stabilité physique, chimique et écologique et de respecter les principes de gestion des risques présentés dans la section 2.10. Cette approche a l'avantage de permettre aux utilisateurs des terres et de l'eau de concentrer leurs efforts sur une utilisation optimum du barrage de stériles au profit de la société et de permettre la résidence de personnes dans le voisinage du barrage de stériles fermé sans prise de risques importante.

Sur le long terme, la stabilité sociale ne peut être maintenue que si l'État ou la communauté peut financer les activités d'entretien ou de réparation qui s'avéreront nécessaires en cas de dégradation des installations ou de modifications importantes des conditions environnementales (changements climatiques provoquant des crues et une érosion plus importantes).

La plupart des juridictions des pays développés et des pays en voie de développement ont adopté, ou vont adopter, des exigences qui forcent les propriétaires à préparer leur plan de fermeture pendant la phase de délivrance des permis ou la phase d'exploitation et à fournir des garanties financières concernant les activités après fermeture et l'état du site sur le long terme. La fiabilité financière à long terme d'un projet de fermeture pourrait également s'appuyer sur des objectifs d'utilisation des terrains et de l'eau susceptibles de générer des revenus, tels que des projets de génération hydroélectrique, le prélèvement de droits d'accès à des fins récréatifs, la vente de terrains, etc.

Conversely, examples of less sustainable tailings dams could include: active care being required at remote sites with an untrained work force; negative effects on the local environment (e.g. degraded water quality, dust) or locations with a high geo-hazard risk; etc.

Examples of social sustainability could include: use of tailing lakes as recreation lakes or for water supply or mini-hydro projects; use of tailings surfaces for golf courses, playing fields or use of tailings dams for habitat or ecological reserves. Conversely, examples of less sustainable tailings dams could include: active care being required at remote sites with an untrained work force; negative effects on the local environment (e.g. degraded water quality, dust) or locations with a high geo-hazard risk; etc.

Long term social sustainability requires that the financial support for any future maintenance or repair is available to the State or community in the event of long term degradation of the facility or, for example, as a result of significantly changed environmental conditions (such as climate change leading to higher extreme floods and erosion).

Most jurisdictions in the developed and developing world have adopted, or are moving towards, requirements for owners to develop closure plans during the permitting or operation stage and to provide financial guarantees to support post closure and the long term closure condition. Long term financial sustainability could also be supported with land or water use objectives that could generate income, such as power, recreation charges, land sales, etc.

---

## 4. SURVEILLANCE À LONG TERME

---

### 4.1. APRÈS-FERMETURE

Après la fermeture du site, on distingue la phase d'entretien actif et la phase d'entretien passif au cours desquelles les objectifs de la surveillance diffèrent.

Durant la phase d'entretien actif, la surveillance vise à démontrer que le site répond aux exigences du plan de fermeture, c'est-à-dire qu'il reste conforme aux objectifs de stabilité physique, chimique, écologique et sociale. Les exigences de surveillance, dans cette optique, doivent être spécifiées au cas par cas pour chaque barrage de stériles. À cet égard, le Bulletin 104 de la CIGB (CIGB, 1996) est une bonne référence.

Durant la phase d'entretien passif, une surveillance limitée reste requise pour montrer que le plan de fermeture choisi permet toujours de satisfaire aux exigences définies pour le long terme. Le programme de surveillance doit être conçu de manière détaillée pour ce qui est des risques définis, tels que ceux décrits dans le chapitre 2.10.

### 4.2. LONG TERME

Sur le long terme, après la phase d'entretien passif, l'objectif est de pouvoir laisser le barrage de stériles sans surveillance active ou continue. Cela n'est cependant pas toujours possible et la plupart des barrages de stériles nécessitent toujours un certain niveau de surveillance à long terme.

Le programme de surveillance doit être basé sur l'évaluation des risques qui a été effectuée pour préparer la fermeture du barrage. La surveillance doit, à ce stade, être périodique, de l'ordre d'une inspection tous les 5 à 20 ans environ, suivant le site et suivant les résultats des inspections précédentes. Autant que possible, un système d'alerte sera mis en place pour avertir de l'éventuelle occurrence d'un événement susceptible d'avoir des conséquences graves pour le barrage. Un tel système nécessite néanmoins l'intervention de l'homme et donc l'existence d'une organisation ou d'une institution (p. ex. l'État) qui sera responsable du barrage de stériles après sa fermeture.

Il faut ajouter qu'aucune fermeture de barrage ne peut être durable sans l'existence d'institutions pérennes pour veiller à la mise en œuvre des plans de fermeture. Les gouvernements subissent constamment des changements et ne sont pas nécessairement disponibles pour gérer à long terme les plans de fermeture de ces ouvrages. La Banque mondiale, qui est souvent considérée comme une des principales autorités en matière de durabilité, reste notablement muette à ce sujet, ayant simplement déclaré que le cadre juridique et réglementaire pour la fermeture des mines doit être en place (World Bank & IFC, 2002).

---

## 4. LONG TERM MONITORING

---

### 4.1. POST CLOSURE

During post closure there are the active care and passive care phases for which the monitoring objectives will be different.

During the active care phase, monitoring should be undertaken in order to demonstrate that the design fulfils the requirements of the final closure design, i.e. long term sustainable compliance with regard to physical, chemical, ecological and social stability. The specific monitoring requirements in this respect need to be identified separately for each specific tailings dam. In this respect reference should be made to ICOLD Bulletin 104 (ICOLD, 1996).

During the passive care phase, limited monitoring is still required in order to demonstrate that the chosen closure design still fulfils the requirements over time. Design of the monitoring program needs to be specified with regard to defined risks, such as those described in chapter 2.10.

### 4.2. LONG TERM

The objective over a long period of time after the passive care phase is to be able to leave the tailings dam without active or ongoing monitoring. This is, however, not always possible, resulting in most tailings dams requiring some degree of long term monitoring.

The design of the monitoring program has to be based on the risk assessment undertaken for closure of the specific tailings dam. Monitoring should, at this stage, be periodic in the order of about every 5 to every 20 or so years depending on the facility in question and the results of previous inspections. If possible, a system may be put in place that provides a warning should a high consequence event occur. Such a system, however, requires human intervention, resulting in the need for a body or institution, e.g. the State, to be responsible for the closed tailings dam.

Additionally, it must be stated that closure cannot be sustainable without sustainable institutions to implement it. Governments undergo constant change and are not necessarily available for the long term closure considerations require. The World Bank, which is often considered as a primary authority on sustainability, is notably silent on this issue, stating only that the legal and regulatory framework for mine closure must be in place (World Bank & IFC, 2002).

### **4.3. PLANS D'URGENCE**

Les gestionnaires responsables des barrages de stériles préparent le plus souvent un plan d'urgence et un tel plan est exigé par certaines autorités de réglementation. Il est recommandé d'adopter un plan d'urgence qui englobe la phase après-fermeture et de faire en sorte que l'autorité responsable du barrage soit en possession d'une copie de ce plan.

### **4.3. EMERGENCY PLANS**

It is common practice, and in some jurisdictions a regulatory requirement, for most tailings dams to develop an emergency plan. It is suggested that this plan is adopted after appropriate amendment to cover the post closure phase as well, and that this plan is held by the responsible authority.

---

## 5. RÉFÉRENCES / REFERENCES

---

- ASSOCIATION CANADIENNE DES BARRAGES, 2007. *Les Directives pour la sécurité des barrages 2007*.
- CANADIAN DAM ASSOCIATION, 2007. *Dam Safety Guidelines*.
- ADITR (AUSTRALIAN DEPARTMENT OF INDUSTRY, TOURISM AND RESOURCES), 2007. *Leading Practice Sustainable Development Programme for the Mining Industry*.
- AMC (ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA), 2002. Divers manuels et lignes directrices.
- MAC (MINING ASSOCIATION OF CANADA), 2002. Various Guidelines/Manuals.
- BRUNDTLAND G. (ed), 1987. *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press, p. 43.
- CAMBRIDGE M., 2008. *Implications of pyritic rockfill on the performance of embankment dams; Dams and Reservoirs*. Vol. 18 No. 2; Thomas Telford Ltd.
- CIGB, 1986. Bulletin 55 : *Géotextiles, filtres et transitions pour barrages en remblai*.
- ICOLD, 1986. Bulletin 55: *Geotextiles as Filters and Transitions in Dams*.
- CIGB, 1996. Bulletin 104 : *Auscultation des barrages de stériles - Synthèse et recommandations*.
- ICOLD, 1996. Bulletin 104: *Monitoring of Tailings Dams – Review and recommendations*.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2009. *Document BREF (2009) - Gestion des résidus et stériles des activités minières*.
- EUROPEAN COMMISSION, 2009. *BREF document (2009) - Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities*.
- DME (MINISTÈRE DES MINÉRAUX ET DE L'ÉNERGIE), 2002. *Minerals and Petroleum Resources Development Act*. Afrique du Sud.
- DME (DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY), 2002. *Minerals and Petroleum Resources Development Act*. South Africa.
- DWA (MINISTÈRE DES AFFAIRES HYDRIQUES), 2008. *Best Practice Guideline G5: Water Management Aspects for Mine Closure*. Afrique du Sud.
- DWAF (DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY), 2008. *Best Practice Guideland G5: Water Management Aspects for Mine Closure*. South Africa.

- ICMM (CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET MÉTAUX), 2008. *Boîte à outils : Planification pour la Fermeture de mine intégrée*. Londres, R.-U.
- ICMM (INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS), 2008. *Planning for Integrated Mine Closure: Toolkit*. London, UK.
- IISD (INSTITUT INTERNATIONAL DU DÉVELOPPEMENT DURABLE), 2002. *Seven Questions to Sustainability: How to Assess the Contribution of Mining and Mineral Activities*.
- ISSD (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT), 2002. *Seven Questions to Sustainability: How to Assess the Contribution of Mining and Mineral Activities*.
- ITC 08/02/2001. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA, 2000. Orden de 26 de abril de 2000 por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 08.02.01 del capítulo XII del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera “Depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas”. BOE de 9 de mayo de 2000, 17235-17244.
- MCKENNA G, KEYS M & VAN MEER R, 2000. *The impact of beaver dams on the design and construction of reclaimed mine sites*.
- MWD (Directive concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive) 2006. *Directive 2006/21/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive*, Commission européenne.
- MWD (MINING WASTE DIRECTIVE) 2006. *Directive (2006/21/EC) European Parliament & the Council on the Management of waste from extractive industries*, European Commission.
- MCA (MINERALS COUNCIL OF AUSTRALIA), 2005. *Enduring Value - The Australian Minerals Industry Framework for Sustainable Development (2010-06)*.
- NCSR 2002. NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE NCSR-02. Parte General y Edificación. BOE, 244: 35898-35967.
- SCOTT WILSON MINING *et al*, 2005. *The treatment of mine waste to achieve cost effective engineered closure of tailings dams*, EU Contract N°: G1RD-CT-2001-00480, 2001-2005.
- SVEMIN (SWEDISH ASSOCIATION OF MINES, MINERAL AND METAL PRODUCERS), 2010. *GruvRIDAS - Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet*.
- TEDD *et al*. 2000. Developments in the British National Dam Database, 11th Biennial Conference Proceedings, British Dam Society, Bath, June 2000.
- WORLD BANK & IFC (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION), 2002. *It's Not Over When It's Over: Mine Closure Around The World, Mining and Development Series*. Washington, USA.

---

## 6. LECTURES COMPLÉMENTAIRES / FURTHER READING

---

- ANCOLD, Guidelines On Tailings Dams: Planning, Design, Construction, Operation and Closure, 2011.
- ANCOLD, Consequence Guidelines (2010).
- ANCOLD, Guidelines on Risk Assessment (2003).
- ANCOLD, Guidelines on Dam Safety Management (2003).
- ANCOLD, Guidelines on Design Floods for Dams (2000).
- ANCOLD, Guidelines for the Design of Dams for Earthquake (1998).
- ANCOLD, Guidelines on Dam Instrumentation and Monitoring (1983).
- BJELKEVIK A., 2005. *Water Cover Closure Design for Tailings Dams; State of the Art Report*. Luleå University of Technology.
- BOGER D.V. & HART B.C., 2008. *Making an unsustainable Industry More Sustainable*. Paste 2008, Kasane, Botswana.
- CAMBRIDGE M. & OLIVEIRA, M., 2006. *The Influence of Inspection and Monitoring on the Phased Construction of the Barragem de Cerro do Lobo*. 14th BDS Biennial Conference, Durham September 2006.
- COOLING D.J., 2007. *Improving the Sustainability of Residue Management Practices – Paste 2007*, Perth, Australia.
- CIGB, Bulletin 104, *Auscultation des barrages de stériles - Synthèse et recommandations*, 1996.
- ICOLD Bulletin 104, *Monitoring of Tailings Dams, Review and Recommendations*, 1996.
- CIGB, Bulletin 106, *Guide des barrages et retenues de stériles - Conception, construction exploitation et réhabilitation*, 1996.
- ICOLD Bulletin 106, *A Guide to Tailings Dams and Impoundments*, 1996.
- ICOLD/UNEP Bulletin 121, *Tailings Dams, Risk of Dangerous Occurrences*, 2001.

CIGB Bulletin 139, *Amélioration de la sécurité des barrages de stériles*, 2011.

ICOLD Bulletin 139, *Increasing Tailings Dam Safety*, 2011.

COMITÉ TECHNIQUE DE LA CIGB SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, LES BARRAGES, LES RÉSERVOIRS ET LES RESSOURCES HYDRIQUES CONNEXES : *Changements climatiques : Défis et adaptations possibles pour l'ingénieur en ressources hydriques du 21<sup>e</sup> siècle*.

ICOLD COMMITTEE ON CLIMATE CHANGE AND DAMS, RESERVOIRS AND THE RELATED WATER RESOURCES: *Climate Change: Potential Challenges and Adaptations for the 21st Century Water Resources Engineer*.

COMMISSION DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES, Sommet mondial sur le développement durable tenu à Johannesburg, Afrique du Sud, 26 août-4 septembre 2002.

UNITED NATIONS COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT, World summit on sustainable development held in Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September, 2002.

LACY H., 2005, *Closure and Rehabilitation of Tailings Storage Facilities Ch.15, Developments in Minerals Processing, Elsevier*.

MARTIN T.E., DAVIES M.P., RICE S., HIGG, T. & LIGHTHALL, P. C., 2002. *Stewardship of Tailings Facilities* (International Institute for Environmental and Development).

TRACEY W. & HART B., 2006. *Making Tailings Disposal Sustainable: A key Business Issue*. Paste 2007, Perth, Australie.

UK MINES AND QUARRIES (Tips) Act 1969, HMSO 1969.

UK MINES AND QUARRIES (Tips) Act 1971, HMSO 1971.

UK HEALTH AND SAFETY AT WORK ACT; Quarries Regulations 1999, HMSO 1999.

USCOLD, 1994, Tailings dam Incidents, U.S. Society on Dams (anciennement USCOLD).

VAN ZYL D, *Mine Waste Disposal and Sustainable Development, 3<sup>e</sup> Conférence internationale sur la gestion des déchets miniers et industriels, Johannesburg, 2004*.

VAN ZYL D, *Mine Waste Disposal and Sustainable Development, 3rd International Conference on Mining and Industrial Waste Management, Johannesburg, 2004*.

- MINISTÈRE DES MINÉRAUX ET DE L'ÉNERGIE DE L'OUEST DE L'Australie (Western Australia Department of Minerals and Energy), 1999. *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storages*.
- WESTERN AUSTRALIA DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, 1999. *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storages*.
- USCOLD, 1994, Tailings Dam Incidents, U.S. Society on Dams (anciennement USCOLD / formerly USCOLD).
- VICK, S., 2001, *Stability aspects of long-term closure for sulfide tailings*, Seminar on Safe Tailings Dam Constructions, Gallivare, Sweden.



Imprimerie de Montligeon  
61400 St Hilaire le Châtel  
Dépôt légal : Novembre 2012  
N° 25922  
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/>