

COST IMPACT OF RULES, CRITERIA AND SPECIFICATIONS

Review and recommendations

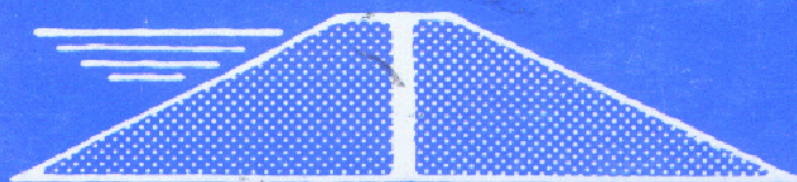
INFLUENCE DES RÈGLES, CRITÈRES ET SPÉCIFICATIONS SUR LES COÛTS

Synthèse et recommandations

Bulletin 110



WHICH ONE ?



QUE CHOISIR ?



1997

Original text in English
French translation by Y. Le May,
Texte original en anglais
Traduction en français par Y. Le May.

COST IMPACT OF RULES, CRITERIA AND SPECIFICATIONS

Review and recommendations

INFLUENCE DES RÈGLES, CRITÈRES ET SPÉCIFICATIONS SUR LES COÛTS

Synthèse et recommandations

AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

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

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

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

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

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

NOTICE – DISCLAIMER :

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

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

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

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

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

COMMITTEE ON COST OF DAMS
COMITÉ DU COÛT DES BARRAGES
(1991-1997)

Chairman/Président

France/France F. LEMPÉRIÈRE

Members/Membres

Algeria/Algérie A. BOUTAGHOU
Austria/Autriche R. PETTER
Brazil/Brésil J.M. FRANCO FILHO
Canada/Canada K. MURPHY
China/Chine J. ZHANG
Germany/Allemagne J. KONGETER
India/Inde D.G. KADKADE
Indonesia/Indonésie SURYONO
Iran/Iran E. RAMAZANI (1)
B. HAZRATI (2)
Italy/Italie A. MARCELLO
Japan/Japon T. YAMAMURA (3)
T. NISHIKIORI (4)
Korea/Corée S.K. KIM
Morocco/Maroc A. CHRAIBI
Norway/Norvège K. MATHISMOEN
Russia/Russie S. LASHCHENOV
South Africa/Afrique du Sud W.S. CROUCAMP
Spain/Espagne R. DEL HOYO
United Kingdom/Royaume-Uni P. MASON
USA/États-Unis J.D. SMART
Yugoslavia/Yougoslavie K. NEIMAREVIC

(1) Member until February 1997/Membre jusqu'en février 1997

(2) Member since February 1997/Membre depuis février 1997

(3) Member until 1994/Membre jusqu'en 1994

(4) Member since 1994/Membre depuis 1994

SOMMAIRE

- AVANT-PROPOS
1. INTRODUCTION
 2. PHILOSOPHIE DE LA
CONCEPTION ÉCONOMIQUE
 3. PROGRÈS DANS LA
CONCEPTION DES
BARRAGES
 4. SPÉCIFICATIONS DE
CONSTRUCTION
 5. PERSPECTIVES DE PROGRÈS
DANS LA CONCEPTION DES
BARRAGES
 6. CLAUSES CONTRACTUELLES
DES MARCHÉS
 7. RÈGLEMENTS
ET LÉGISLATION
 8. RÉFÉRENCES
SÉLECTIONNÉES
- ANNEXES

CONTENTS

- FOREWORD
1. INTRODUCTION
 2. COST EFFECTIVE DESIGN
PHILOSOPHY
 3. DESIGN DEVELOPMENTS
 4. CONSTRUCTION
SPECIFICATIONS
 5. FUTURE DESIGN
DEVELOPMENTS OF DAMS
 6. COMMERCIAL CONDITIONS
OF CONTRACTS
 7. RULES AND LEGISLATION
 8. SELECTED REFERENCES
- APPENDICES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	10
1. INTRODUCTION.....	12
2. PHILOSOPHIE DE LA CONCEPTION ÉCONOMIQUE.....	16
2.1. Optimisation de la conception	16
2.2. Étude technique de valeur (Value Engineering).....	16
2.3. Analyse de risque - Généralités.....	20
2.4. Analyse de risque - Arbres d'événements	24
2.5. Niveaux de tolérance de rupture.....	28
2.6. Reconnaissances, essais et contrôle dans la phase de projet.....	30
3. PROGRÈS DANS LA CONCEPTION DES BARRAGES	40
3.1. Barrages en remblai - Historique.....	40
3.2. Barrages en remblai - Progrès nouveaux et spécifiques.....	40
3.2.1. Généralités.....	40
3.2.2. Barrages en enrochement à masque amont en béton de ciment	42
3.2.3. Barrages en remblai à masque amont en béton bitumineux	42
3.2.4. Barrages en remblai avec membrane amont d'étanchéité	44
3.2.5. Barrages en remblai avec écran interne en béton de ciment	44
3.2.6. Écrans internes en béton bitumineux	44
3.2.7. Écrans internes en sol-ciment	46
3.2.8. Noyau constitué par injection	46
3.2.9. Barrages en remblai avec noyau d'argile humide	46
3.2.10. Étanchéité par membranes minces internes	48
3.2.11. Barrages en terre armée.....	48
3.2.12. Barrages en remblai/maçonnerie.....	48
3.2.13. Évacuateurs de crue implantés sur des barrages en remblai	50
3.2.14. Barrages réalisés par sautage contrôlé	50
3.3. Barrages en béton/maçonnerie - Historique.....	50
3.4. Barrage en béton compacté au rouleau	54
3.5. Utilisation d'éléments préfabriqués en béton	56
3.6. Fondations de barrages.....	56
3.7. Ouvrages d'évacuation	58

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD	11
1. INTRODUCTION.....	13
2. COST EFFECTIVE DESIGN PHILOSOPHY	17
2.1. Design Optimisation.....	17
2.2. Value Engineering	17
2.3. Risk Analyses - General	21
2.4. Risk Analyses - Event Trees	25
2.5. Failure Tolerance Levels.....	29
2.6. Design Investigations, Testing and Control	31
3. DESIGN DEVELOPMENTS.....	41
3.1. Fill Dams - Background	41
3.2. Fill Dams - Novel and Specific Developments.....	41
3.2.1. General	41
3.2.2. Concrete Faced Rockfill Dams	43
3.2.3. Asphalt/Bituminous Faced Fill Dams	43
3.2.4. Thin Membrane Faced Fill Dams	45
3.2.5. Concrete Core Fill Dams	45
3.2.6. Central Asphaltic Concrete Cores.....	45
3.2.7. Central Soil Cement Cores	47
3.2.8. Grouted Core	47
3.2.9. Wet Clay Core Dams	47
3.2.10. Thin Central Membrane Cores	49
3.2.11. Reinforced Earth Dams.....	49
3.2.12. Fill/Masonry Dams	49
3.2.13. Incorporated Spillways on Fill Dams	51
3.2.14. Blasted Dams.....	51
3.3. Concrete/Masonry Dams - Background.....	51
3.4. Roller Compacted Concrete Dams	55
3.5. Use of Precast Units	57
3.6. Dam Foundations	57
3.7. Outlet Works	59

4. SPÉCIFICATIONS DE CONSTRUCTION	66
4.1. Historique	66
4.2. Généralités	68
4.3. Barrages en remblai.....	70
4.4. Barrages en béton.....	72
5. PERSPECTIVES DE PROGRÈS DANS LA CONCEPTION DES BARRAGES....	76
6. CLAUSES CONTRACTUELLES DES MARCHÉS	80
6.1. Partage des risques	80
6.2. Types de marché.....	82
6.2.1. Marchés classiques	82
6.2.2. Marchés forfaitaires.....	82
6.2.3. Marchés clés en main	82
6.2.4. Marchés BOT (Build-Operate-Transfer/Construction-Exploitation-Transfert).....	84
6.2.5. Marchés avec primes	86
6.2.6. Marchés avec prix d'objectif	86
6.2.7. Marchés de gré à gré	86
6.3. Variantes de conception proposées	86
6.4. Procédures de règlement des litiges	88
7. RÈGLEMENTS ET LÉGISLATION	92
7.1. Généralités	92
7.2. Règlements relatifs à l'environnement et permis de construire	92
7.2.1. Introduction	92
7.2.2. Procédure d'obtention de permis	94
7.2.3. Discussion	100
7.3. Règlements relatifs à la sécurité des barrages	100
7.3.1. Généralités.....	100
7.3.2. Influence des règlements relatifs à la sécurité des barrages sur les coûts.....	102
8. RÉFÉRENCES SÉLECTIONNÉES	108
ANNEXES	111
Annexe A - Exemples	112
Annexe B - Analyse de risque des barrages.....	120

4. CONSTRUCTION SPECIFICATIONS	67
4.1. Background	67
4.2. General	69
4.3. Fill Dams	71
4.4. Concrete Dams	73
5. FUTURE DESIGN DEVELOPMENTS OF DAMS	77
6. COMMERCIAL CONDITIONS OF CONTRACT	81
6.1. Risk Sharing	81
6.2. Types of Contract	83
6.2.1. Conventional Contracts	83
6.2.2. Lump Sum Contracts	83
6.2.3. Turnkey Contracts	83
6.2.4. BOT Contracts (Build-Operate-Transfer)	85
6.2.5. Incentive Payments	87
6.2.6. Target Price Contracts	87
6.2.7. Negotiated Contracts	87
6.3. Alternative Designs	87
6.4. Dispute Procedures	89
7. RULES AND LEGISLATION	93
7.1. General	93
7.2. Environmental Regulations and Construction Permitting	93
7.2.1. Introduction	93
7.2.2. The Permitting Process	95
7.2.3. Discussion	101
7.3. Regulations Regarding Dam Safety	101
7.3.1. General	101
7.3.2. Cost Implications of Dam Safety Regulations	103
8. SELECTED REFERENCES	108
APPENDICES	111
Appendix A - Case Histories	113
Appendix B - Risk Analysis at Dams	121

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- Fig. 1. — Critères de risques majeurs, établis par le Bureau de la Santé et de la Sécurité (Royaume-Uni)
- Fig. 2. — Risques relatifs à des installations industrielles sélectionnées (Whitman, 1984)
- Fig. 3. — Comparaison de divers critères de risques
- Fig. 4. — Comparaison de niveaux de risques maximaux
- Fig. 5. — Barrage Atbashi (URSS), avec une membrane de polyéthylène
- Fig. 6. — Barrage déversant en terre, enrochement et maçonnerie, type Zhaogushe (République Populaire de Chine)
- Fig. 7. — Barrage Crotty (Australie) en enrochement, à masque amont en béton, avec évacuateur de crue implanté sur le talus aval
- Fig. 8. — Barrage Googang (Australie) - Surélévation économique en utilisant de l'enrochement armé
- Fig. 9. — Représentation schématique de divers types de marché
- Fig. 10. — Processus d'obtention de permis pour de nouveaux aménagements hydroélectriques - Québec, Canada
- Fig. 11. — Procédure de gestion environnementale intégrée (Afrique du Sud, d'après Rooseboom et al, 1994)
- Fig. B.1. — Exemple d'arbre d'événements hydrologiques pour des dégâts causés à un évacuateur par une crue
- Tableau 1. — Tableau récapitulatif de solutions possibles examinées dans le Bulletin CIGB 83
- Tableau B.1. — Facteurs caractéristiques à prendre en compte lors de l'établissement d'arbres d'événements de rupture pour des barrages

LIST OF FIGURES AND TABLES

- Fig. 1. — Risk criteria for major hazards as developed by the UK Health and Safety Executive
- Fig. 2. — Risks for selected engineering projects (Whitman, 1984)
- Fig. 3. — A comparison of societal risk criteria
- Fig. 4. — A comparison of maximum risk levels
- Fig. 5. — Atbashi dam (USSR) with a polyethylene membrane
- Fig. 6. — A Zhaogushe type overflow dam (PR of China) of earth, rockfill and masonry
- Fig. 7. — Crotty concrete faced rockfill dam (Australia) featuring an integral spillway on the downstream face
- Fig. 8. — Cost-effective raising of Googang dam (Australia) using reinforced rockfill
- Fig. 9. — Schematic illustration of available contract types
- Fig. 10. — Permitting process for new hydro projects - Québec, Canada
- Fig. 11. — The integrated environmental management (IEM) procedure (South Africa, after Rooseboom et al, 1994)
- Fig. B.1. — An indicative hydrological event tree for spillway flood damage
- Table 1. — Summary of possible future alternatives discussed in ICOLD Bulletin 83
- Table B.1. — Typical factors for consideration in preparing failure event trees for dams

AVANT-PROPOS

Le but des constructeurs de barrages est, ou doit être, de « choisir et de réaliser le projet le plus économique répondant au niveau de sécurité exigé ».

Le présent Bulletin aide à atteindre cet objectif en examinant divers aspects :

- Optimisation globale du projet par une étude technique de valeur (Value Engineering),
- Examen de la sécurité en effectuant une analyse de risque,
- Commentaires sur les progrès dans la conception,
- Recommandations pratiques pour l'adoption de spécifications appropriées,
- Commentaires concernant la meilleure utilisation des diverses dispositions contractuelles,
- Examen des règlements et législation.

Ce Bulletin qui a été préparé par le Comité du Coût des Barrages s'adresse à tous les ingénieurs intervenant dans les travaux de barrages.

Le principal auteur du Bulletin est le Dr. P.J. Mason (Royaume-Uni), d'intéressantes contributions ayant été reçues de K. Mathismoen (Norvège), K. Murphy (Canada) et N. Reich (Australie). Qu'ils en soient tous vivement remerciés.

F. Lempérière
Président du Comité
du Coût des Barrages

FOREWORD

The target of dam builders is, or should be, “to select and implement the most cost effective overall design for the degree of security required”;

The aim of this Bulletin is to help reaching this target through:

- Overall optimization of design by value engineering or value management,
- Care of safety by risk analysis,
- Comments about design developments,
- Practical advices for reasonable specifications,
- Comments about best use of various contractual arrangements,
- Study of existing rules and legislation.

All engineers involved in dam activity may then find interest in at least a part of this Bulletin which has been prepared by the Committee on Cost of Dams.

The main author and editor of the Bulletin is Dr. P.J. Mason (UK) with contributions to particular sections by K. Mathismoen (Norway), K. Murphy (Canada) and N. Reich (Australia). I feel that they deserve our congratulations and deep thanks for this contribution to progress in dams cost and safety.

F. Lempérière
Chairman, Committee
on Cost of Dams

1. INTRODUCTION

Le coût des barrages sera logiquement influencé par tous les facteurs intervenant dans leur projet et leur construction. Ces facteurs comprennent entre autres : le type et la qualité des fondations, les matériaux de construction disponibles, les coûts de main-d'œuvre, le type de barrage choisi, les critères de projet adoptés, les règles et législations imposées, les problèmes liés à l'environnement. Une grande partie des principaux facteurs ont été traités dans divers manuels spécifiques et dans de précédents Bulletins CIGB, mais généralement sans aborder leur influence sur le coût global.

En 1988, le Comité de la Technologie de Construction des Barrages a rédigé le Bulletin 63 « Nouvelles méthodes de construction ». Il fut suivi, en 1989, par le Bulletin 73 « Économies dans la construction des barrages » et, en 1992, par le Bulletin 83 « Évolution des barrages. Influence des coûts ». Ces Bulletins examinent l'influence des coûts sur l'évolution des projets de barrages, le dernier Bulletin précité traitant spécifiquement du sujet. L'importance de la question a conduit à la constitution du Comité du Coût des Barrages, chargé d'étudier, entre autres, l'influence des hypothèses admises et des règles adoptées sur le coût des barrages. Quatre domaines furent choisis pour la préparation de Bulletins particuliers :

- Règles, critères, spécifications et clauses de marché
- Exploitation, auscultation, entretien et réhabilitation
- Barrages de faible hauteur
- Maîtrise provisoire et définitive des crues.

Le présent Bulletin traite du premier domaine ; il examine la possibilité de réduire les coûts, mais souligne que cela ne doit pas se faire au détriment de la sécurité. Les barrages sont des ouvrages à risque élevé et l'objectif est principalement de sélectionner le projet le plus économique pour le niveau de sécurité prescrit. Le Chapitre 2 examine les moyens permettant d'atteindre cet objectif. L'optimisation globale du projet est étudiée en faisant appel aux techniques d'étude de valeur (Value Engineering), tandis que le rôle des coefficients de sécurité classiques est examiné au moyen d'analyses de risque.

Le Chapitre 3 traite des progrès dans la conception des barrages en remblai, des barrages en béton/maçonnerie, et des barrages composites, ainsi que dans certains domaines associés à ces ouvrages. Un point commun est encore l'optimisation du coût.

Le Chapitre 4 examine les spécifications de construction, tandis que le Chapitre 5 est consacré aux perspectives de progrès dans la conception des barrages.

1. INTRODUCTION

The cost of dams will logically be affected by all the factors which go to make up their design and construction. These will include the type and quality of the foundations, available construction materials, labour costs, the type of dam selected, design criteria adopted, imposed rules and regulations and environmental concerns, to name but a few. Most relevant factors have been discussed in specific design manuals and in previous ICOLD Bulletins, though generally in isolation to overall cost impact.

In 1988 the Committee on Technology of Dam Construction produced Bulletin 63 on “New Construction Methods”. This was followed in 1989 by Bulletin 73 on “Savings in Dam Construction” and in 1992 by Bulletin 83 on the “Cost Impact on Future Dam Design”. These served to illustrate the effect of cost on the evolution of dam design, the last Bulletin dealt with the matter specifically. It also led to the formation of The Committee on Cost of Dams. This Committee accepted the task of reviewing dam costs, including the effect on cost of assumptions made and rules adopted. Four aspects were selected for individual Bulletins. These were:

- Rules, Criteria, Specifications and Contractual Conditions
- Operation, Monitoring, Maintenance and Rehabilitation
- Smaller Dams
- Temporary and Permanent Flood Control.

This Bulletin deals with the first of these; it explores opportunities for cost reduction but stresses that this should not be done at the expense of safety. Dams are high hazard structures and the issue is more one of selecting the most cost-effective overall design of the works for the degree of security required. Chapter 2 explores ways in which this can be attempted. Overall optimisation of design is reviewed in terms of Value Engineering techniques while the role of conventional safety factors is reviewed in terms of Risk Analyses.

Chapter 3 explores design developments in fill, concrete/masonry and hybrid dams as well as of a number of common or associated areas. Again a common theme is the optimisation of cost.

Construction Specifications are discussed in Chapter 4 while Chapter 5 considers options for the future design development of dams.

Le Chapitre 6 traite des clauses contractuelles ou conditions commerciales des marchés, le Chapitre 7 concernant les règlements et la législation.

L'Annexe A donne des exemples d'économies de coût dans les barrages ou d'amélioration de leur valeur économique. L'Annexe B présente quelques recommandations d'ordre pratique sur l'application des analyses de risque aux barrages.

Chapter 6 considers Contractual Arrangements or Commercial Conditions of Contract and Chapter 7 concludes with Rules and Legislation.

Appendix A give examples of cost savings on dams or the enhancement of value. Appendix B gives background information on Risk Analysis as they might be applied to dams.

2. PHILOSOPHIE DE LA CONCEPTION ÉCONOMIQUE

2.1. OPTIMISATION DE LA CONCEPTION

Pour un site donné, un certain nombre de types de barrages possibles seront en général sélectionnés et une évaluation préliminaire du coût de chaque type d'ouvrage sera effectuée. Chaque type fera l'objet d'une optimisation. Par exemple, dans le cas d'un barrage en remblai, avec un évacuateur de crue séparé à seuil libre, la revanche et donc la hauteur du barrage, pour une crue de projet donnée, diminueront si la largeur et donc le coût de l'évacuateur sont augmentés. Le coût global optimal résultera d'un bilan entre les deux paramètres. Le bilan optimal variera pour chaque type d'ouvrage sélectionné, avec la cote de retenue normale choisie. On peut se demander jusqu'à quel niveau une telle optimisation détaillée doit être effectuée, mais il est évident qu'un excès de simplification peut conduire à ne pas mettre en évidence la solution la plus économique. Il faut également souligner que le type de barrage le plus économique peut dépendre de la hauteur de l'ouvrage et d'autres facteurs prescrits, tels que des dispositions permettant une surélévation future.

Une telle optimisation peut s'étendre à de nombreux autres éléments, tels que la nécessité et le dimensionnement d'un évacuateur de fond, des dispositifs de vidange rapide. Les coûts de ces ouvrages seront généralement plus élevés dans le cas de barrages en remblai, compte tenu de la longueur importante des conduits d'évacuation. La méthode et le programme de dérivation dépendront aussi du type de barrage, de la topographie et de la géologie du site, et de l'hydrologie ; la conception de cette dérivation peut être aussi associée à celle des évacuateurs de fond définitifs.

La conception intégrée et globale d'un barrage nécessite évidemment une réflexion et une étude approfondies d'expert et, cependant, souvent des détails et des dispositions deviennent standard dans certains bureaux d'études. Cela est compréhensible dans une certaine mesure, étant donné que ces bureaux tendront à retenir les dispositions conçues suivant leur propre expérience et ayant eu un comportement satisfaisant sur d'autres aménagements. Toutefois, le fait qu'une grande diversité de solutions existe dans ces domaines à travers le monde laisse à penser que, dans de nombreux cas, des variantes plus économiques peuvent être probablement trouvées. De profondes réflexions suivies d'une évaluation au moyen d'études techniques de valeur (Value Engineering) constituent un moyen de réduire des dépenses inutiles.

2.2. ÉTUDE TECHNIQUE DE VALEUR (VALUE ENGINEERING)

L'étude technique de valeur (Value Engineering) a été décrite comme une opération destinée à maximiser la valeur fonctionnelle d'un projet en gérant son évo-

2. COST EFFECTIVE DESIGN PHILOSOPHY

2.1. DESIGN OPTIMISATION

At any given site, a number of dam options would normally be selected and preliminary costings made. Each type would also require optimisation. For example, in the case of a fill dam with a separate ungated spillway, the freeboard and hence the required dam height for a given design flood, will reduce with the increased width and cost of the spillway. The optimum overall cost will therefore be a balance between the two. The optimum balance will change for each type of dam selected, with chosen reservoir full supply level. It is debatable at which stage such detailed optimisation should be made, but it is clear that an oversimplification of design optimisation can lead to the most cost effective solution being missed. It should also be stressed that the most cost effective type of dam may change with dam height and with other imposed requirements, such as possible allowances for future heightening.

Such optimisation can extend to many other issues such as the need for, and size of, low level outlet, rapid draw-down facilities. Costs for these will generally be more onerous in the case of fill dams in view of the increased length of pipework involved. The appropriate diversion method and sequence will also vary according to dam type, locality and hydrology. This too may have a bearing on long term low level outlet options.

The integrated and overall design of a dam is clearly a matter for expert guidance and yet often details and arrangements become standardised within given agencies. This is to some extent understandable as agencies will tend to preserve what they see has worked acceptably elsewhere within their own experience. The fact however, that such diversity of solutions exists in these matters throughout the world, suggests that in many cases more cost effective alternatives could probably be found. Controlled brainstorming and subsequent expert evaluation through formalised Value Engineering techniques is one way of reducing unnecessary expenditure.

2.2. VALUE ENGINEERING

Value Engineering, or Value Management, has been described as a service which maximises the functional value of a project by managing its evolution and

lution depuis la conception jusqu'à son achèvement, par comparaison et vérification par rapport à la décision prise par le client quant à cette valeur. Cette méthode a été aussi décrite comme une technique visant à minimiser le coût d'obtention d'un objectif donné ou à réaliser le bilan optimal entre coût et objectif.

Le « Value Engineering » remonte aux travaux de Lawrence Miles dans les années 1940. Miles, basé aux États-Unis, utilisa la technique pour évaluer diverses solutions de matériaux compte tenu de la pénurie de matériaux à cette époque. Dès le début, l'étude de valeur fut considérée comme un exercice de validation de coût, n'affectant pas la qualité du produit fini. En fait, cette étude devint une approche bien établie, destinée à identifier et à éliminer les dépenses inutiles.

L'étude de valeur s'est développée au cours des années suivantes et fut introduite aux États-Unis dans les années 60. Plus récemment, elle s'est étendue à l'Europe où elle a inclus l'examen des décisions et prescriptions de base, avant l'étude du projet. Beaucoup soutiendront qu'au cours de leurs études de projet ils examineront automatiquement diverses solutions et aboutiront à un résultat identique. Malgré cette affirmation, il apparaît que souvent la réalité est quelque peu différente. La différence essentielle existant dans une approche précise destinée à évaluer les détails de tout projet est que la fonction et l'objectif de chaque élément peuvent être examinés, et des solutions proposées et évaluées, et que l'exercice peut ainsi être formalisé et retenu pour des vérifications et comparaison ultérieures.

Le « Value Engineering » est principalement efficace pour la recherche d'économies au stade de la conception d'un ouvrage, où d'importantes modifications et les implications de variantes radicales, peuvent être étudiées. L'étude VE peut être appliquée à tous les stades ultérieurs du projet et de la construction, mais avec des profits moindres. Une étude VE comprendra essentiellement les étapes suivantes :

- orientation et information
- spéculation et réflexion
- analyse
- examen critique.

Cette version est quelque peu simplifiée, mais elle illustre néanmoins les principes concernés. Au stade de l'orientation et de l'information, les exigences du projet sont identifiées. Cela se traduit en termes de fonctions primaires et secondaires, et fait appel à la technique du calcul fonctionnel ou à des diagrammes « FAST ». Le but du diagramme « FAST » est, en particulier, de différencier les fonctions primaires et secondaires de chaque élément en vue de s'assurer que des coûts inutiles ne sont pas affectés à un domaine qui est une fonction secondaire ou tertiaire.

Au stade de la spéculation, un exercice de réflexion est effectué, au cours duquel diverses solutions sont proposées pour tous les aspects du projet et tous les éléments de l'ouvrage. Cette phase ne nécessite pas de connaissances techniques particulières, l'objectif étant d'encourager l'innovation et l'introduction de toutes variantes possibles. Toutes les options proposées sont considérées valables et peuvent en suggérer d'autres. Des idées irréalistes ou inappropriées seront éliminées au stade suivant.

development from concept to completion, through the comparison and audit of all decisions against a value decision determined by the Client or Customer. Alternatively it has been described as a technique which will minimise the cost of achieving a given purpose or producing the optimum balance between cost and objective.

Value Engineering stems originally from the work of Lawrence Miles in the 1940s. Miles, based in the USA, used the technique to evaluate alternative materials given material shortages at that time. From the beginning, value analysis was seen to be a cost validation exercise which did not affect the quality of the finished product. In fact, value analysis became defined as an organised approach to the identification and elimination of unnecessary cost.

Value analysis developed throughout the subsequent years and became established in the USA during the 1960s. More recently it has spread to Europe where it has expanded as Value Management, to include the review of basic decisions and requirements, prior to design. Many would argue that, during the routine course of their design work, they automatically review alternatives and produce a similar end result. Although many claim this, it is almost certain that in many cases reality is somewhat different. The key difference in a formalised approach to evaluating the detail of any design is that the function and purpose of each element can be reviewed and alternatives proposed and evaluated and that the exercise can thus be formalised and recorded for subsequent scrutiny and comparison.

Value Engineering holds out the greatest potential for saving at the conceptual stage of a job where maximum change, or the implications of radical alternatives, can be reviewed. It can, and is, applied to all subsequent stages of the design and construction process, but with diminishing returns. In essence, a Value Engineering exercise would comprise the following stages:

- orientation and information
- speculation or brainstorming
- analysis
- review.

This is a somewhat simplified version, but nevertheless serves to illustrate the principles involved. At the orientation and information stage the requirements of the project are identified. This is typically done in terms of primary and secondary functions and by the use of functional analysis system technique, or FAST diagrams. The purpose of the FAST diagram is particularly to differentiate between primary and secondary functions of each element in order to ensure that unnecessary costs are not being allocated to an area which is a secondary or tertiary function.

At the speculation stage a brainstorming exercise is carried out in which a range of alternative solutions are proposed to all aspects of the project and all elements of the work. This phase need not feature specific expertise as in fact, the idea is to encourage innovation and the introduction of all possible alternatives. All options suggested are considered valid as they may prompt others. Unrealistic or inappropriate ideas will fall away at the next stage.

Au stade de l'analyse, les résultats de la phase « spéculation » sont examinés par des experts suffisamment qualifiés pour éliminer les idées jugées inacceptables et retenir celles, peut-être radicales, mais pleines de promesses. Il faut souligner qu'une expérience et des connaissances techniques suffisantes devront être mises en œuvre pour s'assurer que les exigences du projet sont toujours respectées.

Un autre avantage d'une étude VE appliquée au projet initial se présente lors des phases d'appel d'offres et de construction. Toutes modifications proposées à ces stades, pour quelque raison que ce soit, peuvent être examinées par rapport aux concepts initialement évalués. Si des problèmes importants apparaissent dans les options retenues, au cours de toute étape des études, ils seront examinés, et des solutions seront mises au point et leurs coûts évalués afin de faciliter le choix des solutions appropriées.

Lors de l'évaluation des variantes, l'objectif pourrait être de présenter la meilleure solution (et donc la valeur maximale) à un coût donné, d'obtenir la solution requise pour un coût de construction minimal, de réaliser le meilleur bilan entre coût et fonction, ou, éventuellement, de parvenir aux coûts de fonctionnement les plus bas, tenant compte de l'exploitation et de l'entretien au cours de toute la durée de vie des ouvrages. Dans le cas d'un examen de variantes de projet, un ensemble de documents sera préparé afin de permettre de calculer les quantités et les coûts correspondant à ces variantes. Au cours de telles études de projet, les coefficients de sécurité de projet seront pris en compte, ceux-ci influant sur le coût de la variante. En réalité, il a été de plus en plus reconnu, au cours de ces dernières années, que l'utilisation de coefficients de sécurité particuliers, appliqués séparément aux différentes parties des ouvrages, ne conduisait pas nécessairement à un coefficient de sécurité global et intégré, ou à une évaluation de la sécurité, pour l'ensemble des ouvrages. Des incertitudes peuvent exister en matière de connaissance des propriétés des matériaux auxquelles les coefficients de sécurité sont appliqués, comme c'est le cas aussi pour les fondations. En vue de surmonter ces difficultés, de récents progrès, tirés des travaux dans l'industrie nucléaire et dans d'autres secteurs industriels, ont conduit à utiliser des analyses de risque. Cette méthode, appliquée aux barrages, est examinée plus en détail dans les sous-chapitres ci-dessous.

Une bonne introduction à la technique « Value Engineering » est donnée par Kelly et Male (1993), avec d'autres références utiles.

2.3. ANALYSES DE RISQUE - GÉNÉRALITÉS

On doit reconnaître que les barrages, comme d'autres ouvrages construits par l'homme, courent certains risques d'accident au cours de leur construction et de leur exploitation.

L'identification et la quantification des risques susceptibles d'affecter un barrage rendent possibles leur atténuation et parfois leur élimination, et permettent également d'établir les implications de coût qui peuvent revêtir une importance

At the analysis phase the results of the speculation phase are reviewed by those with sufficient expertise to eliminate those which would be unacceptable and to take forward those, perhaps radical, ideas which might hold promise. It must be emphasised that sufficient experience and expertise must be brought to bear at this stage in order to ensure that required standards of design are still being met.

Another benefit of a formalised Value Engineering approach to the initial design comes during subsequent detailed tender design and construction stages. Any subsequent changes introduced at these stages, for whatever reason, can be viewed against the concepts evaluated during the initial Value Engineering exercise. This is particularly advantageous in that the implications of proposed changes can be reviewed against the assumptions originally made. If major problems become apparent with selected options during any stage of the production of working designs, then these would be raised and alternative solutions developed and costed to facilitate agreement on appropriate solutions.

In the evaluation of alternatives, the purpose might be to produce the best solution (and hence maximum value) at a given cost, to achieve the required solution at a minimum construction cost, to achieve the best balance between the cost and function or, quite possibly, to achieve the lowest whole life costs, taking into account subsequent operation and maintenance during the life of the project. In the case of reviewing alternative designs, ball-park designs would normally be prepared to enable alternative quantities and costs to be calculated. In preparing such designs, typical design safety values would be assumed and it should be noted that these too will affect the eventual price of the alternative. In fact, there has been a growing awareness in recent years that the use of individual safety factors, applied separately to different parts of the works, will not necessarily result in an overall and integrated safety factor, or safety evaluation, for the works as a whole. Uncertainties may exist in terms of the knowledge of material properties to which the safety factors are applied and this will be none more so than in the case of foundations. In order to overcome this deficiency a more recent development, taken from earlier work in the nuclear and other industries, has been to use Risk Analyses. This approach, as it relates to dams, is discussed in more detail in the sections below.

A good introduction to Value Engineering is given by Kelly and Male (1993) which also leads on to further useful background references.

2.3. RISK ANALYSES - GENERAL

It has to be recognised that dams, like other man-made structures, incur some risks of potentially adverse incidents arising either during construction or subsequent operation.

Identification of hazards and quantification of the risks arising in respect of a dam may allow their mitigation, including sometimes their elimination, but also establishes cost implications which can be of direct financial or contractual impor-

contractuelle ou financière directe au cours de la construction ; elles permettent également de connaître les effets sur les divers facteurs liés à l'exploitation ultérieure des ouvrages.

L'étude de risque comporte l'identification, l'estimation et l'évaluation des risques associés au barrage et à son environnement, afin de vérifier que les marges de sécurité et de fiabilité sont acceptables à l'intérieur des critères fixés pour le projet. Les conséquences des risques identifiés sur le coût peuvent être intégrés dans l'étude financière et les stratégies concernant le projet.

L'identification des risques suit la reconnaissance d'un événement dangereux, ou d'une succession d'événements pouvant conduire à des dégâts (dans le cas extrême, une rupture de barrage), avec établissement des conséquences potentielles de chaque événement. L'évaluation du coût du risque découle des valeurs des divers dégâts élémentaires et de leurs probabilités.

Les méthodes d'analyse de rupture comprennent diverses formes de graphiques logiques représentant une succession d'événements qui peuvent se propager à travers un système complexe. Ceux représentés sous la forme d'arbres d'événements sont largement utilisés et exigent souvent beaucoup d'imagination et de discipline. Pour les barrages, les séries de ruptures et les arbres d'événements comprendront généralement moins d'événements interdépendants que, par exemple, pour les centrales nucléaires. Cependant, la rupture potentielle d'un ouvrage annexe ou la rupture en cascade d'aménagements sur un réseau fluvial peut conduire à des arbres plus complexes.

Contrastant avec la simplicité relative de l'analyse faisant intervenir un arbre de défaillances, la difficulté liée à l'évaluation des risques élémentaires pour les barrages est de définir une probabilité pour un événement majeur donné. Historiquement, les méthodes prudentes de détermination des résistances des matériaux et d'adoption des coefficients de sécurité ont conduit à une situation remarquable de sécurité, de sorte que les ruptures enregistrées ne sont pas faciles à interpréter statistiquement, sauf peut-être pour le grand nombre de petits et moyens barrages en remblai. Cependant, il y a des différences entre les pays et les diverses périodes de construction. Les barrages en remblai construits dans les pays en développement, entre 1950 et 1980, avaient tendance à être réalisés de façon économique, sans matériel lourd. Cela conduisait à moins de compactage et à une résistance moindre à l'érosion. Il est particulièrement utile, pour de futurs recensements, que les probabilités choisies soient accompagnées d'un bref commentaire donnant les raisons des valeurs adoptées. Dans certains cas, ce choix peut s'appuyer sur des statistiques historiques ; dans d'autres cas, il peut résulter d'un jugement subjectif, bien que basé sur des connaissances techniques, tenant compte de facteurs tels que le conservatisme lié au projet, le niveau technique des études de projet et des travaux de construction, ainsi que de leur contrôle, l'étendue des reconnaissances géologiques et des données hydrologiques, etc. Une telle étude requiert des connaissances techniques mais est, par nécessité, souvent subjective.

Lorsque la probabilité d'un événement reconnu et les pertes en résultant sont établies, le coût du risque peut être déterminé sur une base de probabilité annuelle et intégré dans les scénarios de comparaison économique étudiés, de façon qu'un jugement puisse être porté de façon optimale. Parfois, cela correspond à la valeur optimale pour le budget limité disponible, mais, dans d'autres cas, il s'agit

tance during construction and/or impact on operational factors during subsequent operation.

Risk assessment involves the identification, estimation and evaluation of risks associated with the dam and its environment, in order to ascertain that the margins of safety and reliability are acceptable within the criteria set for the project. The cost implications of the identified risks can be integrated into financial assessment and strategies for the project.

The identification of risk follows the recognition of a hazard event, or sequence of events, which can lead to damage (in the extreme initiate dam failure) and establishing the potential consequences of each such occurrence. Financial quantification of the risk derives from the values of each elemental damage and its probability.

Approaches to system failure analyses include various forms of logic diagrams representing sequential events which may propagate through a complex system. Those known as event trees are widely used and often require substantial imagination and discipline. For dam structures failure sequences and event trees will usually comprise fewer interdependent events than for example nuclear power plants. However, the potential failure of ancillary equipment or the cascade failure of a river system may involve more complicated trees.

In contrast to the relative simplicity of the fault tree analysis, the difficulty with the elemental risk evaluation for dams is that of defining probability of a given major event. Historically, conservative approaches to determination of material strengths and adoption of safety factors have led to an impressive safety record so that failure records are not easily interpreted statistically, except perhaps for the great number of medium and small fill dams. Even here though, there are variations between countries and between different periods of construction. Fill dams built in non-industrialised countries between 1950 and 1980 tended to be built cheaply without heavy plant. This resulted in less compaction and less erosion resistance. It is particularly useful if chosen probabilities can for future record, be accompanied by a brief commentary giving the reasons for the values chosen. In some cases this may be based on historical statistics, in others it may require a subjective, albeit expert, judgement based on factors such as the inherent conservatism of the design, the level of design and construction expertise and control being employed, the extent of hydrological record and geological investigations etc. Such assessment will be by experts but is, of necessity, often subjective.

Once the probability of, and losses arising from, a recognised event are established, the risk cost can be determined on an annual basis and integrated into the comparative cost scenarios being reviewed so that judgement can be made on optimum ways forward. Sometimes this is on the basis of best value for limited budget available, but in other cases for appropriateness in dealing with the most severe

d'une question de convenance lors de l'étude du risque le plus sévère. La somme d'argent qui doit être engagée pour permettre le paiement des pertes prévues, de probabilité annuelle, peut être déterminée à partir des taux d'actualisation.

Une simulation Monte Carlo peut être utilisée pour obtenir l'ensemble des événements susceptibles de survenir dans une période donnée, et, à partir de là, le coût correspondant des conséquences.

Il y a d'autres facteurs entrant dans l'équation du coût. Ils comprennent les coûts supplémentaires relatifs aux travaux d'entretien particuliers, à l'auscultation (y compris les dispositifs d'alerte), ou d'autres facteurs d'atténuation résultant de l'acceptation de risques. Il sera également nécessaire de tenir compte du coût des assurances et des garanties couvertes, ou non couvertes, par les assurances pour un risque particulier.

En étudiant chaque risque, les pertes associées constitueront une partie des coûts. Au cours de la construction, elles comprendront, outre les dégâts survenus aux ouvrages, le nettoyage et les dommages causés aux tiers, ainsi que les pertes correspondant aux retards qui peuvent être sévères. En cours d'exploitation, de tels coûts comprendront les pertes de revenus provenant de l'installation ou les coûts temporaires de fourniture de remplacement.

Une grande partie de l'opinion considère que l'estimation du coût des risques associés à la rupture d'un barrage doit, en tout état de cause, être introduite dans le calcul profits/coût effectué pour la justification économique d'un barrage.

Un autre facteur à considérer est le fait que la comparaison des scénarios de risque peut conduire à une conception de risque équilibré pour un ouvrage donné, et donc à des critères pour constituer une partie du processus de choix entre diverses solutions concernant un projet donné. À ce point de vue, l'analyse de risque peut s'intégrer dans les étapes de l'étude technique de valeur du projet, décrites précédemment.

Une bonne introduction à l'analyse de risque est donnée par Rafferty (1994), avec d'autres références utiles.

2.4. ANALYSES DE RISQUE - ARBRES D'ÉVÉNEMENTS

Comme déjà indiqué, une technique particulièrement utile, en vue d'obtenir une vue satisfaisante sur la sécurité globale du barrage, est de représenter les modes de rupture potentiels sous la forme d'arbres d'événements. Cette méthode est applicable au stade du projet initial ou pour l'évaluation de la sécurité après construction du barrage.

Les événements sources de risques sont tout d'abord recensés ; ils peuvent être, par exemple, d'origine sismique ou hydrologique. Dans les deux cas, l'intensité particulière d'un tel événement peut être convenablement déterminée au moyen de la théorie des probabilités, c'est-à-dire qu'un événement d'une magnitude particulière sera affecté d'une certaine probabilité d'occurrence. Les arbres d'événements de caractère spéculatif sont alors établis à partir de tels événements pour lesquels un certain nombre de ruptures particulières ou un ensemble de rup-

risk. The present worth, the amount of money which must be invested to permit payment of the predicted annual loss, can be determined from discount rates.

A Monte Carlo simulation can be run to determine the potential aggregation of events in a given period and hence the related consequential cost.

There are other factors which enter into the cost equation. These involve the additional costs which will be incurred by specific maintenance, monitoring (including warning systems) or other mitigation factors which may derive from accepting the risk. It will also be necessary to consider the implications of insurance costs and the coverage which may or may not be available from insurance for a particular risk.

In assessing each risk the consequential losses will form part of the costs. During construction these will include besides the structural damage, clean-up and third party damage, but will also include for delays which can be severe if the problem is seasonally related. During operation such costs include losses of revenues from the installation or alternatively, the temporary costs of alternative supply.

There is a body of opinion which considers that an estimate of risk cost associated with dam failure should in any case be introduced into the benefit cost analysis which is used to provide the economic justification for a dam.

One other factor for consideration is that comparison of risk scenario can lead toward balanced risk design for a given structure as well as, of course, criteria to form part of the selection process for alternative solutions for a given project. In this sense, risk analysis can integrate perfectly with the design/value engineering stages described earlier.

A good introduction to Risk Assessment is given by Rafferty (1994) which in turn leads on to further useful background references.

2.4. RISK ANALYSES - EVENT TREES

As already discussed, in order to produce a balanced perspective on the overall safety of the dam, a particularly useful technique is to formulate potential failure modes in the form of event trees. This can be applied at the initial design stage or for subsequent safety evaluation once the dam is constructed.

Initiating events are first assumed. These may be for example, seismic or hydrological. In both cases the particular strength of an initiating event can be reasonably established from probability theory, that is a particular magnitude event will have associated with it a certain probability of occurrence. Speculative event trees are then established from such events in which a number of individual or whole cascade failure events are evaluated. In several of these cases the sequence of events may lead to failure of a structure. Experienced judgement is important in

tures en cascade sont analysées. Dans plusieurs de ces cas, la séquence des événements peut conduire à la rupture d'un ouvrage. Un jugement d'expert est important pour attribuer des probabilités correctes à tous ces phénomènes de rupture potentiels. Les probabilités correspondant à une séquence d'événements, multipliées l'une par l'autre, donneront la probabilité globale de rupture concernant cet événement et cet ensemble de circonstances.

Dans de telles analyses, 75 à 100 séquences d'événements peuvent être examinées pour un barrage donné. Une comparaison des probabilités multipliées, pour chaque cas de rupture, indiquera si l'ensemble du projet est satisfaisant, si des dispositifs particuliers ont été conçus avec trop de prudence, ou si d'autres nécessitent une plus grande attention.

Il y a lieu de noter que le choix du type de barrage peut également figurer dans de tels arbres d'événements. Par exemple, les statistiques des ruptures indiquent que les barrages en béton sont plus de deux fois plus sûrs que les barrages en remblai (en prenant en compte les barrages construits entre 1960 et maintenant). Il n'y a pas de raison que de tels facteurs ne soient pas pris en considération dans l'évaluation de la sécurité des diverses variantes. Pour être plus précis, on peut résumer comme suit les statistiques des ruptures de grands barrages construits après 1960 (à l'exclusion de la Chine) :

Barrages en remblai : 7 000 construits, 29 ruptures, plus 13 en cours de construction

Barrages-poids en béton : 1 500 construits, 0 rupture

Barrages-voûtes en béton : 300 construits, 0 rupture

Statistiques pour les barrages en béton construits après 1930 :

Barrages-poids : 2 000 construits, 0 rupture

Barrages-voûtes : 800 construits, 2 ruptures

Barrages à contreforts/voûtes multiples : 400 construits, 4 ruptures.

Il est également important de considérer les nombres de victimes. Depuis 1900, dans les pays industrialisés, 50 ruptures de barrages en remblai ont entraîné la perte de 200 vies humaines, tandis que cette perte est de 2 000 vies humaines pour les ruptures soudaines de 15 barrages en béton ou maçonnerie. En ce qui concerne les petits barrages de stériles miniers et industriels, moins contrôlés, 5 ruptures survenues après 1970 ont causé la perte de 1 000 vies humaines. On peut noter que, pour les barrages en remblai autres que les barrages de stériles, la rupture plus progressive et plus lente peut rendre plus efficaces les dispositifs d'alerte installés à l'aval.

Il est également intéressant de noter que les statistiques ont montré que 75 % des ruptures de barrages en béton étaient imputables à des problèmes de fondation. Cela indique clairement comment les arbres d'événements seront pondérés suivant les chemins de ruptures en cascade. Dans le cas des barrages en remblai, l'analyse des ruptures a indiqué que 15 % seulement de celles-ci résultaient d'un cisaillement interne. Cela signifie donc que 85 % des ruptures de barrages en remblai résultent d'une faiblesse non mise en évidence par un calcul de stabilité ; et cela indique de nouveau la valeur limitée de l'analyse d'un seul mode de rupture et de l'application de coefficients de sécurité à un seul type de rupture pour déterminer la sécurité globale probable du barrage. Enfin, on notera que les techniques d'ana-

terms of assigning reasonable probabilities to all these potential failure events. The probabilities along a particular event tree sequence, multiplied together, will give the overall probability of failure according to that event and according to that set of circumstances.

In such analyses, typically 75 to 100 event sequences may be evaluated for any given dam. A comparison of the multiplied probabilities for each failure option will indicate whether the overall design is balanced, whether particular features are over designed or whether others require more rigorous attention.

It should be noted that the selection of dam type may also feature in such event trees. For example current failure statistics indicate that concrete dams are statistically more than twice as safe as embankment dams (using figures of dams constructed from 1960 to date). There is no reason why such factors should not be incorporated in any safety evaluation of alternatives. To be more precise, failure statistics for large dams outside China, since 1960 can be broadly summarised as follows:

Fill or rockfill dams - 7000 built, 29 failures plus 13 during construction

Concrete gravity dams - 1500 built, 0 failure

Concrete arch dams - 300 built, 0 failure.

Statistics for concrete dams since 1930 are:

Gravity dams - 2000 built, 0 failure

Arch dams - 800 built, 2 failures

Buttress/Multi Arch dams - 400 built, 4 failures

It is also however, important to consider the numbers of victims affected. Since 1900, in industrialised countries 50 failures of fill dams have claimed 200 lives whereas the more sudden failures of 15 masonry or concrete dams have claimed 2000 lives. The matter is further complicated by small and less controlled tailings or mining dams where 5 failures since 1970 have cost 1000 lives. It can be noted that for fill dams other than tailing dams, the slower and more progressive nature of failure can give added benefit to downstream warning systems.

Interestingly statistics have also established that 75% of concrete dam failures were due to foundation problems. This is a clear indication of how event trees should be weighted in terms of alternative cascade failure paths. In the case of embankment dams analysis of failures have shown that only 15% have been the result of internal shear failure. This means therefore that 85% of embankment dam failures result from weaknesses which are not covered by stability analysis, again indicating the limited value of analysing only one particular mode of failure and applying arbitrary safety factors to it alone in terms of establishing the overall probable safety of the dam. Lastly it should be noted that risk analysis techniques can be used in terms of reviewing alternative option lifetime costs including for

lyse de risque sont utilisables pour l'examen des coûts totaux (construction, exploitation, entretien) correspondant aux diverses solutions, y compris les conséquences économiques d'une rupture. Des arbres d'événements potentiels, ne conduisant pas à une rupture totale mais à une rupture partielle, peuvent avoir leurs résultats multipliés par les coûts prévus des réparations. Par conséquent, la technique est utilisable pour obtenir un projet bien équilibré en matière de coûts d'exploitation et d'entretien, ainsi que de sécurité globale. Des recommandations pratiques pour la constitution d'arbres d'événements sont données dans l'Annexe B.

Enfin, il sera fait mention des analyses Monte Carlo dans la mesure où elles concernent les analyses par arbres d'événements. L'examen ci-dessus supposait que, pour un arbre particulier d'événements, chaque événement ajoutait une seule probabilité connue et discrète. En pratique, l'évaluation de telles probabilités, même en bénéficiant d'un avis d'expert, est forcément quelque peu subjective, et variera d'une personne à l'autre. Une autre méthode de plus en plus utilisée consiste à établir une plage de probabilités pour chaque événement. Par exemple, on pourra considérer qu'un événement particulier aura vraisemblablement une probabilité, par exemple, de 10^{-4} , mais il est peu probable que la probabilité soit supérieure à 10^{-3} ou inférieure à 10^{-5} . Dans ce cas, l'événement sera représenté sous la forme d'un triangle entre 10^{-3} et 10^{-5} , la valeur la plus probable étant 10^{-4} . En supposant que tous les événements peuvent être décrits de cette façon, des logiciels standard sont disponibles, permettant d'évaluer, l'un par rapport à l'autre, tous les événements associés, sous la forme d'une analyse « Monte Carlo ». Cela fournira une prévision de toute la séquence d'événements survenant, mais également un histogramme des probabilités, en pourcentage, de l'événement survenant au-dessus et au-dessous de la valeur optimale. Le perfectionnement apporté par de telles analyses est de permettre de comparer les divers chemins de rupture qui autrement pourraient avoir la même valeur optimale mais des formes très différentes d'histogramme.

2.5. NIVEAUX DE TOLÉRANCE DE RUPTURE

La prise en compte ou non, dans les études de projet, de la possibilité de rupture d'un barrage est un sujet très sensible. Comme beaucoup l'ont constaté, il y a une différence notable entre le niveau de risque auquel des gens consentent à s'exposer en fumant, en circulant en voiture, en pratiquant des sports (par exemple, escalades en montagne), et celui qu'ils sont disposés à accepter pour un risque situé à proximité, sur lequel ils n'ont pas de maîtrise (par exemple, un barrage ou une centrale nucléaire). Ainsi que les Recommandations ICE « Floods and reservoir safety » (Royaume-Uni, 1989) l'indiquent, « Il est considéré que le public n'acceptera pas un projet présentant une menace spécifique pour une communauté, même s'il tolère dans une certaine mesure une perte accidentelle de vies humaines ».

Néanmoins, toutes les installations nucléaires sont conçues suivant de tels critères de risque, et divers organismes s'efforcent de plus en plus de mettre au point des critères appropriés de risque pour les barrages, et de les associer à des critères identiques développés pour d'autres ouvrages à risque élevé.

the economic consequences of failure. Potential event trees, not leading to total failure but leading to partial failure, can have their results multiplied by expected cost of repairs. Again therefore, the technique can be used to ensure a balanced design in terms of operation and maintenance costs as well as total overall safety. Practical guidance in assembling appropriate event trees for dams is given in Appendix B.

A final mention should be made of Monte Carlo analyses as they relate to the above event tree analyses. The discussions above assumed that for a specific event tree, each event adds a single known and discrete probability. In practice the assessment of such probabilities, even given some expert advice, is bound to be somewhat subjective and would be expected to vary from individual to individual. An alternative method increasingly used, is to prepare an expected range of probabilities for each event. For example a particular event might be considered as having a likely probability of say, 10^{-4} but is unlikely to be greater than 10^{-3} or less than 10^{-5} . In this case the event would be represented in a triangular form between 10^{-3} and 10^{-5} with its most likely value at 10^{-4} . Assuming that all events can be described in this fashion, standardised computer programmes are available which will evaluate all associated events against each other in the form of a "Monte Carlo" analysis. This will produce an expected likelihood of the total sequential event occurring but also produce a histogram of percentage probabilities of the event occurring above and below the optimum value. The value added by such analyses is in comparing alternative failure paths which might otherwise have the same optimum value but very different shapes of histogram.

2.5. FAILURE TOLERANCE LEVELS

Whether or not the possibility of dam failure should even be considered as part of the design process is a very emotive subject. As many have noted, there is a significant difference between the level of risk which people are prepared to expose themselves to through smoking, motoring and sports such as mountain climbing, and that which they are prepared to accept from a nearby hazard over which they have no control, such as a dam or nuclear power station. As the UK, ICE Guidelines on "floods and reservoir safety" (1989) states "It is considered that public opinion will not accept conscious design for a specific threat to a community, even though it tolerates to an extent both random and accidental loss of life".

Nevertheless all nuclear facilities are designed according to such risk criteria and serious efforts are increasingly being made by various agencies to develop appropriate risk criteria for dams, also to integrate them with similar criteria which have been developed for other high hazard works.

Un utile résumé de certains des sujets concernés et de certains des critères mis au point ou proposés est donné par Salmon et Hertford (1995). Les Figures 1, 2, 3 et 4 extraites du rapport de Salmon et Hertford sont présentées ici compte tenu de leur intérêt. Le but n'est pas de faire des recommandations précises mais d'attirer l'attention sur les sujets.

On peut admettre que l'évaluation de risque est, au mieux, associée au danger perçu et, au pis, peut être purement subjective. Dans la plupart des pays, la crue de projet dépend du niveau de risque attribué au barrage, c'est-à-dire de l'importance des dommages pouvant résulter d'une rupture. Cela est souvent désigné sous l'expression « catégorie de barrage ». En outre, il y a souvent des différences de niveau de conception entre les pays : par exemple, dans les pays en voie de développement, la valeur absolue des pertes causées par une rupture peut être moindre, et le coût supplémentaire résultant de l'application des mêmes normes que celles en vigueur dans les pays industrialisés peut empêcher la construction du barrage.

Il faut cependant souligner que l'on s'attache à appliquer les mêmes normes dans tous les pays pour les barrages à risque élevé, c'est-à-dire lorsque le barrage est particulièrement grand et que la rupture conduit à une importante perte en vies humaines. En fait, le risque humain à l'aval des barrages devient de plus en plus un élément-clé dans la prise de décision dans tous les pays, au détriment de l'optimisation économique. Pour une hauteur de barrage et un volume de retenue donnés, le risque humain variera avec le type de barrage, la valeur du débit de pointe résultant d'une brèche dans l'ouvrage, l'existence et l'efficacité du dispositif d'alerte à l'aval. Se reporter au chapitre 2.4.

2.6. RECONNAISSANCES, ESSAIS ET CONTRÔLE DANS LA PHASE DE PROJET

On ne quittera pas le domaine des études de projet sans mentionner l'importance de reconnaissances suffisantes et d'essais sur modèle appropriés, et de leur exécution sous un contrôle satisfaisant. Il y a des exemples de problèmes coûteux résultant de reconnaissances géologiques insuffisantes et/ou d'essais sur modèle hydraulique insuffisants ou inappropriés.

Dans le cas des reconnaissances sur le site, il y a évidemment un bilan à établir entre le coût et les profits, et peut-être le facteur primordial dans la recherche de l'efficacité est la nécessité d'une conduite experte des travaux de reconnaissances et d'une bonne interprétation des résultats, pendant toute la durée des opérations. Les reconnaissances font normalement partie des études de projet avant la construction, mais sont, en général, utilement poursuivies au cours de la construction, en particulier dans la zone des matériaux de construction. Toutes les parties concernées doivent avoir accès aux données obtenues. Cela peut éviter des malentendus et il serait incompréhensible de ne pas partager les informations sur lesquelles la réussite du projet et de la construction repose. En pratique, le centre d'intérêt des reconnaissances peut se déplacer du projeteur vers le constructeur, et cela souligne la nécessité d'une continuité et d'un partage des informations.

Des études hydrologiques seront également nécessaires, bien que celles-ci aient été, en général, effectuées jusqu'à un niveau suffisant avant la construction.

A useful summary of some of the issues involved and some of the criteria developed or proposed is given by Salmon and Hertford (1995). Figures 1, 2, 3 and 4 taken from the Salmon and Hertford paper are presented here for interest and background information. It is not proposed to make any definite recommendations but rather to raise awareness of the issues.

It may be agreed that the assessment of appropriate risk is at best related to the perceived hazard and at worst may be purely subjective. The design flood in most countries is related to the hazard rating ascribed to the dam, ie to the potential amount of damage which might result from failure. This is often referred to as the "dam category". Furthermore there is often a difference in design levels between countries where, for example, in developing countries the absolute value of loss through failure might be less and where the additional cost of meeting the same standards required in industrialised countries might preclude the dam being built.

It should however be emphasised that one would expect similar standards between all countries for significant hazard dams, ie where the dam is particularly large and where failure would lead to significant loss of life. In fact human risk downstream is progressively becoming a key element of decision making in all countries, rather than economic optimisation. For a given dam height and reservoir volume the human hazard will vary with the type of dam, the peak flood value resulting from any breach and the existence and efficacy of any downstream flood warning system. See the discussion in Section 2.4.

2.6. DESIGN INVESTIGATIONS, TESTING AND CONTROL

The subject of design should not be left without some mention being made of the process being supported by adequate investigations and model testing where appropriate, also of it being carried out in a properly controlled manner. There are examples of costly problems occurring through inadequate geological investigation and/or as a result of inadequate or inappropriate hydraulic model testing.

In the case of site investigations there is clearly a balance to be struck between cost and benefit and perhaps the overriding factor in ensuring efficiency is the need for expert guidance and interpretation throughout. Investigations are needed as part of the design process prior to construction but are generally usefully carried on during construction, particularly in the area of construction materials. All parties should have access to any data obtained. This can avoid misunderstandings and there is anyway little sense in not sharing the information on which successful design and construction will depend. In practice the focus of investigation may move from designer to contractor but this only emphasises the need for continuity and a sharing of information.

Hydrological investigations will also be needed although these will generally have been carried out to a sufficient level prior to construction. Indeed the very

En fait, la valeur économique de l'aménagement dépendra des apports d'eau pour la production d'énergie, l'approvisionnement en eau ou l'irrigation. Un problème distinct est celui des crues. Une crue de projet (par exemple, la PMF) sera choisie et sa valeur déterminée pour le site en question. Dans de nombreux cas, si ce n'est la plupart, les enregistrements de débits seront insuffisants et l'on s'appuiera davantage sur des analyses pluies/débits. Des valeurs de crues ont été définies ultérieurement avec une précision infirmant les approximations ayant dû être faites dans de telles études. Au cours des 30 dernières années, il n'a pas été rare de voir des estimations de crues de projet augmenter de 50 ou même 100 % du fait que des données plus nombreuses devenaient disponibles. Le but d'un barrage est de stocker et de maîtriser les apports d'eau, l'évacuateur de crue étant souvent l'une des parties d'ouvrage les plus coûteuses. Il est évident qu'une étude hydrologique précise est primordiale pour l'obtention d'un projet économique.

L'efficacité et le dimensionnement des ouvrages de vidange et des évacuateurs de crue peuvent souvent être étudiés à partir de projets types, mais souvent l'optimisation finale nécessitera des essais sur modèle hydraulique. De tels essais permettent de faire d'importantes économies sur les coûts de construction et d'entretien. Dans certains cas, cependant, les essais sont limités par les clients. Comme pour les reconnaissances insuffisantes sur le site, le projeteur a alors peu de choix, si ce n'est d'adopter une certaine prudence pour compenser le plus grand risque impliqué. Des essais appropriés peuvent souvent conduire à des économies de coût de construction proportionnellement plus élevés et à une conception d'ouvrage plus sûre. En général, mais pas dans tous les cas, cela représente la méthode la plus économique à suivre.

Les travaux de projet et de construction sont de plus en plus liés par la gestion de la qualité. Cela régleme les responsabilités et améliore la qualité des travaux, et peut s'appliquer aux entrepreneurs ainsi qu'aux projeteurs, ingénieurs conseils et clients.

Un programme de qualité pour un aménagement comprendra toutes les activités associées à l'exécution des travaux, et tous les prélèvements d'échantillons, essais et approbations exigés. Au stade de la conception, le programme concernera la préparation des critères, et l'organisation des vérifications et des approbations. Des règles sont fixées pour la constitution d'une documentation sur tous les faits et actions importants.

Le but de la gestion de la qualité est de prévenir des fautes, mais, en plus, pour celles relevées, de remonter à leur origine et de les corriger pour éviter qu'elles ne se reproduisent dans le futur. La gestion de la qualité peut contribuer à éviter des ruptures et améliorer la coopération entre les diverses parties impliquées dans les travaux d'un aménagement. De cette façon, elle constitue un facteur réel de réduction du coût global.

validity of the scheme will depend on the water yield, either for power production, water supply or irrigation. A separate issue is that of flooding. Here a design flood value (e.g. PMF) will be chosen and the appropriate value determined for the site. In many, if not most, cases flow records will be short and reliance placed more on rainfall/runoff analyses. The precision to which estimated floods are subsequently quoted belies the approximations which have to be made in such studies. Over the past 30 years it has not been uncommon to see design flood estimates increase by 50 or even 100% as more data has become available. The purpose of a dam will be to store and control water while the flood spillway will often represent one of the most costly parts of the works. Clearly an accurate hydrological assessment is vital if the resulting design is to be cost effective.

The effectiveness and size of inlets, outlets works and spillways can often be assessed from standardised designs but in many cases final optimisation will require hydraulic model testing. Considerable savings can be made to both construction and maintenance costs by such tests. In some cases however, testing is constrained by Clients. In such cases, as with inadequate site investigations, the designer has little choice but to opt for conservatism to offset the greater risk involved. Appropriate testing can often lead to proportionately greater construction cost savings and to greater design certainty. It generally, though not always, represents the most cost effective way to proceed.

The design and construction processes are overall being increasingly tightened by Quality Management. This regulates responsibilities and improves the quality of the works. It can apply to contractors as well as to designers, consultants and clients.

A quality plan for a project will include all the activities related to the execution of the works and all the sampling, tests and approvals required. In the case of design it will organise the preparation of criteria, checks and approvals. Documentation of all important facts and actions is regulated.

The aim of Quality Management is to prevent faults but in addition it allows faults to be traced back to their origin and corrected to avoid future repetition. Quality Management can help avoid failures and can improve co-operation between the parties involved in a project. In this way it is a real factor in overall cost saving.

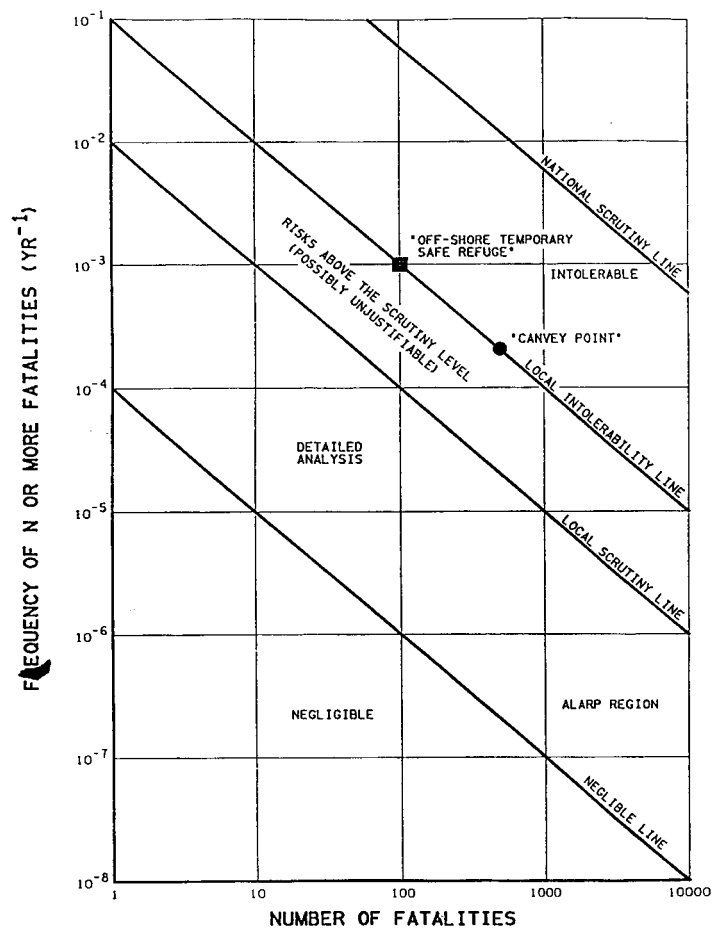
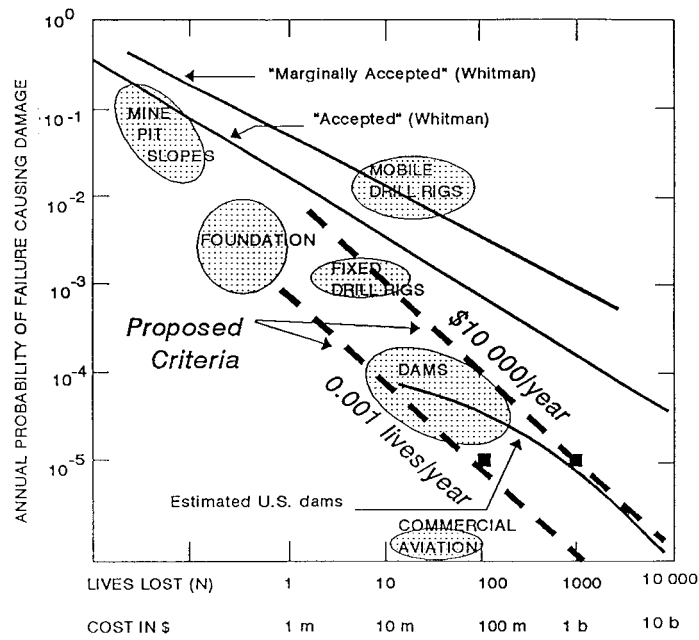


Fig. 1.

Risk criteria for major hazards as developed by the UK Health and Safety Executive
Critères de risques majeurs, établis par le Bureau de la Santé et de la Sécurité (Royaume-Uni)

Frequency of N or more fatalities (yr ⁻¹)	<i>Fréquence annuelle d'au moins N morts accidentelles</i>
Number of fatalities	<i>Nombre de morts accidentelles</i>
Risks above the scrutiny level (possibly unjustifiable)	<i>Risques au-dessus du niveau de vérification (éventuellement, injustifiables)</i>
Intolerable	<i>Intolérable</i>
Detailed analysis	<i>Analyse détaillée</i>
Negligible	<i>Négligeable</i>
ALARP Region (ALARP = As Low As Reasonably Practicable)	<i>Zone ALARP (faible à modéré)</i>
"Off-shore temporary safe refuge"	<i>« Abri provisoire au large »</i>
"Canvey Point"	<i>« Point Canvey »</i>
National Scrutiny Line	<i>Ligne de vérification nationale</i>
Local Intolerability Line	<i>Ligne d'intolérabilité locale</i>
Local Scrutiny Line	<i>Ligne de vérification locale</i>
Negligible Line	<i>Ligne négligeable</i>



■ Very High Consequence Dams - Failure could result in more than 100 fatalities and other losses greater than \$1 billion

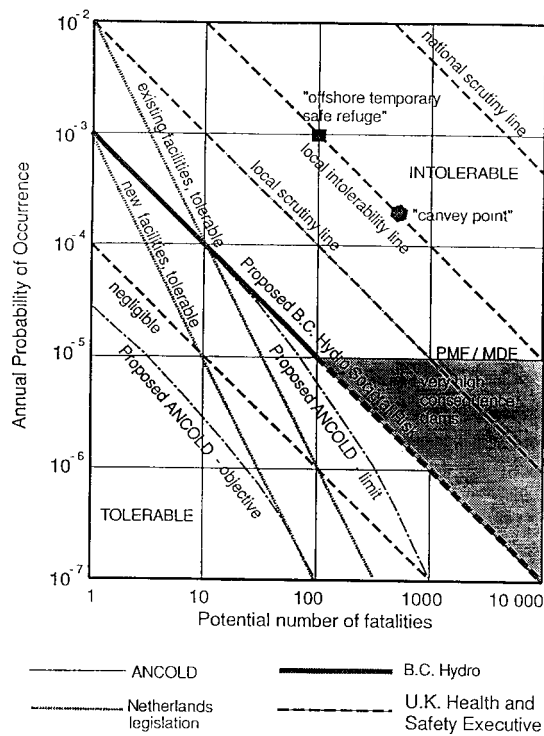


Fig. 2.

Risks for selected engineering projects (Whitman, 1984)

Risques relatifs à des installations industrielles sélectionnées (Whitman, 1984)

Annual probability of failure causing damage	<i>Probabilité annuelle de rupture causant des dommages</i>
Lives lost (N)	<i>Perte de vies humaines (N)</i>
Cost in \$	<i>Coût en dollars</i>
Very High Consequence Dams - Failure could result in more than 100 fatalities and other losses greater than \$1 billion	<i>Barrages avec conséquences très importantes. La rupture peut entraîner plus de 100 morts et d'autres pertes supérieures à 1 milliard \$</i>
"Marginally Accepted" (Whitman)	<i>« Limite d'acceptabilité » (Whitman)</i>
Proposed Criteria	<i>Critères proposés</i>
\$10 000/year	<i>10 000 \$/an</i>
0.001 lives/year	<i>0,001 vie/an</i>
Estimated U.S. Dams	<i>Barrages US estimés</i>
Mine Pit Slopes	<i>Talus d'excavations minières</i>
Mobile Drill Rigs	<i>Installations de forage mobiles</i>
Foundation	<i>Fondation</i>
Fixed Drill Rigs	<i>Installations de forages fixes</i>
Dams	<i>Barrages</i>
Commercial Aviation	<i>Aviation commerciale</i>

Fig. 3.

A comparison of societal risk criteria

Comparaison de divers critères de risques

Annual Probability of occurrence	<i>Probabilité annuelle d'occurrence</i>
Potential number of fatalities	<i>Nombre potentiel de morts accidentelles</i>
ANCOLD	<i>Comité National Australien des Grands Barrages (ANCOLD)</i>
U.K. Health and Safety Executive	<i>Bureau de la Santé et de la Sécurité (Royaume-Uni)</i>
B.C. Hydro	<i>B.C. Hydro (Colombie Britannique)</i>
Netherlands legislation	<i>Législation Néerlandaise</i>
Intolerable	<i>Intolérable</i>
Tolerable	<i>Tolérable</i>
National Scrutiny Line	<i>Ligne de vérification nationale</i>
Local Intolerability Line	<i>Ligne d'intolérabilité locale</i>
Local Scrutiny Line	<i>Ligne de vérification locale</i>
Proposed B.C. Societal Risk	<i>Risque proposé - Colombie Britannique</i>
Existing facilities, tolerable	<i>Dispositions existantes, tolérables</i>
New facilities, tolerable	<i>Dispositions nouvelles, tolérables</i>
Negligible	<i>Négligeable</i>
Very high consequence dams	<i>Barrages avec conséquences très importantes</i>
Proposed ANCOLD - limit	<i>Limite proposée - ANCOLD</i>
Proposed ANCOLD - objective	<i>Objectif proposé - ANCOLD</i>
PMF/MDE	<i>PMF/MDE (Crue Maximale Probable/ Séisme Maximal de Dimensionnement)</i>
"Offshore temporary safe refuge"	<i>« Abri provisoire au large »</i>
"Canvey point"	<i>« Point Canvey »</i>

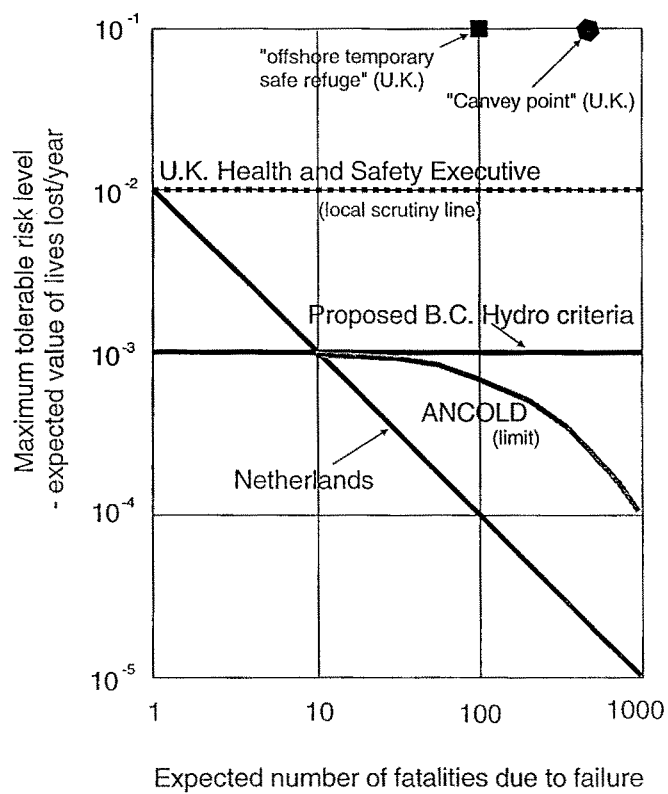


Fig. 4.

A comparison of maximum risk levels
Comparaison de niveaux de risques maximaux

Maximum tolerable risk level - expected value of lives lost/year	<i>Niveau de risque maximal tolérable - valeur prévue de pertes de vies humaines par an</i>
Expected number of fatalities due to failure "Offshore temporary safe refuge" (U.K.)	<i>Nombre prévu de morts dues à la rupture « Abri provisoire au large » (Royaume-Uni)</i>
"Canvey point" (U.K.)	<i>« Point Canvey » (Royaume-Uni)</i>
U.K. Health and Safety Executive (local scrutiny line)	<i>Bureau de la Santé et de la Sécurité - Royaume-Uni (ligne de vérification locale)</i>
Proposed B.C. Hydro criteria	<i>Critères proposés - B.C. Hydro (Colombie Britannique)</i>
ANCOLD (limit)	<i>Comité National Australien des Grands Barrages (ANCOLD) (limite)</i>
Netherlands	<i>Pays-Bas</i>

3. PROGRÈS DANS LA CONCEPTION DES BARRAGES

3.1. BARRAGES EN REMBLAI - HISTORIQUE

Les très anciens barrages en remblai étaient des ouvrages en grande partie homogènes, constitués essentiellement de silts, sables et graviers. Même dans les années 1800, les barrages homogènes en argile lourde étaient exceptionnels étant donné les importants travaux manuels d'excavation et de mise en place des matériaux nécessités par ce type de barrage. L'introduction de noyaux étanches constitua plus tard un progrès qui permit de réduire la quantité totale de matériaux grâce à une meilleure conception. L'amélioration des connaissances en mécanique des sols attira l'attention sur des facteurs, tels que la fracturation hydraulique, les argiles dispersives, etc., et sur l'importance de filtres bien conçus (composition, emplacement). Ces progrès, ainsi que l'utilisation de matériels lourds de terrassement, conduisirent à une augmentation du nombre et du pourcentage de barrages en remblai construits, à des économies dans la construction résultant d'une amélioration des connaissances et de la confiance dans les principes de la mécanique des sols appliqués à la conception des ouvrages.

Dans le cas des barrages en enrochement, une zone étanche spécifique est nécessaire. Dans quelques barrages très anciens, des parements amont constitués de poutres en bois ont été adoptés, mais pour les grands barrages en enrochement on a utilisé, au début, une zone étanche interne, en limon ou argile, avec des filtres appropriés et des recharges en enrochement. Ces dernières années ont vu un développement des barrages en enrochement à masque amont en béton de ciment ou béton bitumineux. Des imperfections dans les techniques de compactage ont posé des problèmes à l'origine, mais ceux-ci sont maintenant presque entièrement résolus et une large variété d'enrochement, incluant des matériaux altérés, peut être utilisée en toute confiance pour de tels ouvrages. En outre, la mise en place d'une couche support pour le masque amont a amélioré considérablement la conception.

Il faut noter que, dans la succession des progrès sus-mentionnés, les modifications étaient généralement motivées pour des raisons de coût et d'économie, un ajustement ultérieur étant effectué pour tenir compte des enseignements tirés et des connaissances acquises. Les succès obtenus dans la conception résultent donc d'une plus grande économie associée à une connaissance satisfaisante des conséquences impliquées.

3.2. BARRAGES EN REMBLAI - PROGRÈS NOUVEAUX ET SPÉCIFIQUES

3.2.1. Généralités

Afin que diverses solutions puissent être prises en considération dans la conception, les sous-chapitres suivants indiquent un large domaine de méthodes

3. DESIGN DEVELOPMENTS

3.1. FILL DAMS - BACKGROUND

The very earliest fill dams were broadly homogeneous structures formed primarily from silts, sands and gravels. Even as late as the 1800s, homogeneous dams in heavy clays were unusual given the effort needed to excavate and work the material manually. The introduction of central impermeable cores, for example using puddled clay and appropriate supporting shoulders, was a later development which allowed a reduced total quantity of material as a result of a more structured design. As our knowledge of soil mechanics increased awareness arose of factors such as hydraulic fracturing, dispersive clays etc. and the importance of properly located and constituted filter zones. These factors, together with heavy moving plant, led to an increase in the percentage and number of fill dams constructed, construction economies being supplemented with an increased understanding and confidence in the principles of soil mechanics underlying the designs.

In the case of rockfill dams a specific impermeable zone was required. In some very early dams upstream faces of timber were used, but for major rockfill dams initial recourse was to a central impermeable zone, of silt or clay, with appropriate filters and supporting shoulders of rockfill. Recent years have shown increasing acceptance of concrete and bitumen faced rockfill dams. Again initial uncertainties in required compaction techniques led to problems but these have now been almost entirely resolved and a wide range of rockfill, including decomposed material, can be confidently used for these such structures. This, coupled with an awareness of the need for a bedding layer for any upstream membrane, has led to considerable improvements in design.

It should be noted that in the above development sequences the motivation for change was generally through reasons of cost and economy with subsequent appropriate adjustment as a result of lessons learned and knowledge gained. The successful development of design therefore becomes a combination of increased economy coupled with sufficient understanding of the design consequences involved.

3.2. FILL DAMS - NOVEL AND SPECIFIC DEVELOPMENTS

3.2.1 General

In order that alternative designs may be considered, the following sub sections provide an indication of the wide range of alternative methods which have been

qui ont été utilisées dans la construction de barrages en remblai. Elles ont été extraites, en général, du Bulletin CIGB 63 « Nouvelles méthodes de construction - Aperçu général ». Elles sont néanmoins brièvement rappelées ci-après afin de donner un résumé des diverses solutions et de mentionner les Bulletins CIGB traitant de cette question et publiés après le Bulletin 63.

3.2.2. Barrages en enrochement à masque amont en béton de ciment

Les barrages en enrochement à masque amont en béton de ciment sont maintenant fermement reconnus comme étant l'un des types de barrage les plus économiques. Les fuites observées sur ce type de barrage, où l'enrochement était insuffisamment compacté dans les années 1950, faisaient douter de la validité de la méthode. Avec l'introduction de l'enrochement compacté dans les années 1960, associée à l'augmentation de leur hauteur et entraînant une amélioration de leur comportement, les barrages de ce type sont maintenant largement considérés comme des ouvrages sûrs et économiques. Ils conduisent à une construction rapide, à un volume réduit d'enrochement et à des ouvrages de dérivation relativement économiques, à condition, bien entendu, que des précautions soient prises ; c'est ainsi que le déversement sur les couches inférieures d'enrochement est acceptable sous réserve que ces couches soient convenablement stabilisées au moyen de câbles et de gabions. Étant donné que la charge d'eau est appliquée sur le parement amont, toute la surface de fondation intervient dans la résistance à l'action des forces, la nature ouverte du corps principal d'enrochement éliminant les pressions d'eau internes. Cela est particulièrement bénéfique dans les régions à forte sismicité où, sans cela, les pressions interstitielles augmenteraient sous l'effet des vibrations. Il y a de nombreux barrages de ce type, des exemples ainsi que des recommandations sur leur conception étant donnés dans le Bulletin CIGB 70 (1989) « Barrages en enrochement à masque en béton - Technique actuelle ».

3.2.3. Barrages en remblai à masque amont en béton bitumineux

Les commentaires faits à propos du type de barrage précité sont grosso modo valables pour les barrages en remblai à masque en béton bitumineux. Des recommandations relatives aux masques en béton bitumineux des barrages en enrochement et en terre sont présentées dans le Bulletin 32a (1977). Une seconde édition de ce Bulletin a été publiée en 1982. Une description particulièrement utile de barrages de ce type figure également dans le Bulletin 63. Il est indiqué, par exemple, que le premier barrage de ce type fut construit en 1929, aux États-Unis. Un avantage particulier des étanchéités bitumineuses est leur grande déformabilité au cours des tassements. Par exemple, dans le cas du barrage de Prims-Talsperre (Allemagne), de 62 m de hauteur, le masque en béton bitumineux s'est adapté, sans désordres, à un tassement de 1,20 m lors du remplissage de la retenue. Par contre, on sait que des problèmes de durabilité se sont posés sur certains ouvrages. D'une façon générale, une plus grande attention portée aux prescriptions relatives au remblai compacté, ainsi que la flexibilité du masque et sa capacité intrinsèque à résister à la charge d'eau, font que cette solution peut être prise en considération sous un angle favorable.

used to construct fill dams. They have in general been taken from those summarised in ICOLD Bulletin 63, "new construction methods - state of the art". They are nevertheless briefly repeated below in order to give a succinct summary of alternatives and to take the opportunity to reference relevant ICOLD Bulletins produced subsequent to Bulletin 63.

3.2.2. Concrete Faced Rockfill Dams

Concrete faced rockfill dams are now firmly established as one of the most cost effective types of dam. Leakage experiences with this type of dam, using limited compaction rockfill in the 1950s, led to some suspicion over the adequacy of the method. With the advent of compacted rockfill in the 1960s, together with their increased height and subsequent satisfactory performance they are now widely accepted as an inherently safe and economic form of construction. They lend themselves to rapid construction rates, minimised rockfill quantities and relatively economic diversion requirements, indeed provided adequate precautions are taken, overtopping of lower lifts of rockfill is acceptable provided they are adequately anchored with cables and gabions. As the water load is applied to the upstream face, the entire foundation area is available to resist the force while the open nature of the main rockfill body eliminates internal water pressures. This can be a particular benefit in high seismic zones where vibration induced pore pressure increases could otherwise occur. There are numerous examples of this type of dam, some of which are summarised, together with appropriate design recommendations in ICOLD Bulletin 70 (1989) rockfill dams with concrete facing - state of the art.

3.2.3. Asphalt/Bituminous Faced Fill Dams

The comments for this type of dam broadly follow those for concrete faced rockfill dams. Recommendations for bituminous concrete facings for earth and rockfill dams are contained in ICOLD Bulletin 32a (1977). A second addition of this bulletin was prepared in 1982. A particularly useful description of asphaltic concrete faced dams is also contained in ICOLD Bulletin 63. It notes for example that the first such dam was constructed in 1929 in the USA. A special advantage of asphaltic membranes is their high deformability during settlement. In the case of the Pimms-Talsperre dam in Germany for example, a settlement of 1.2 m during reservoir filling, for a 62 m high dam, was accommodated by the asphaltic concrete membrane without damage. On the other hand it is known that problems with durability have occurred elsewhere. Broadly speaking the increased awareness of compacted fill requirements coupled with the flexibility of the membrane and its intrinsic ability to resist water pressure, means that this alternative can also be looked on favourably.

3.2.4. Barrages en remblai avec membrane amont d'étanchéité

Des barrages en terre et en enrochement ont été réalisés en utilisant une grande variété de membranes amont d'étanchéité, de faible épaisseur. Elles vont du bois et de l'acier jusqu'aux matériaux synthétiques tels que le caoutchouc butyl, le néoprène, le PVC, etc.

L'utilisation de platelages en bois a été signalée sur trois barrages norvégiens, de 41 à 52 m de hauteur, construits entre 1955 et 1959. Des feuilles minces d'acier ont été adoptées dans un certain nombre de pays, malgré les problèmes de pérennité à long terme et de corrosion posés par ce type de matériau. Une description de barrages en remblai avec masques d'étanchéité minces, constitués principalement de matériaux synthétiques, tels que le PVC, figure dans le Bulletin 63, et une description plus détaillée de l'expérience acquise dans l'utilisation de membranes minces sur des barrages en remblai est présentée dans le Bulletin 38 (1981).

3.2.5. Barrages en remblai avec écran interne en béton de ciment

Il existe à travers le monde un certain nombre de barrages où l'écran interne d'étanchéité est constitué de béton classique. Par exemple, neuf barrages de ce type ont été construits en Norvège entre 1930 et 1974. De nombreux autres exemples existent dans le monde. Ce type de construction a toujours soulevé deux préoccupations : le béton interne rigide peut artificiellement constituer un certain support pour les matériaux de remblai souples, entravant ainsi le tassement normal de ceux-ci ; une deuxième préoccupation est le développement de fissures dans le béton interne, difficiles à détecter et à colmater. Des solutions, telles que l'application d'une peinture bitumineuse sur les parements du béton pour faciliter les tassements relatifs du remblai, ont été proposées et essayées. Toutefois, la solution la plus courante consiste à remplacer l'écran interne en béton classique par un écran en béton bitumineux.

3.2.6. Écrans internes en béton bitumineux

Les écrans en béton bitumineux ont été de plus en plus utilisés au cours de ces dernières années, compte tenu des progrès réalisés dans les méthodes de compactage de l'enrochement et dans la technique du béton bitumineux. Entre 1980 et 1990, sept barrages de ce type ont été achevés en Norvège et deux autres sont en construction, leur hauteur variant de 51 à 90 m. Le Bulletin CIGB 84 (1992) présente des barrages en remblai avec noyau en béton bitumineux, dans l'ordre chronologique de leur construction entre 1948 et 1991. De tels noyaux sont moins affectés par les conditions climatiques que les noyaux en terre et permettent également d'éviter des « cicatrices » locales dans les versants causées par de grandes zones d'emprunt. Le matériau est pratiquement imperméable, flexible, résistant à l'érosion et au vieillissement, et permet une construction du noyau sans joints. Il est particulièrement approprié de placer le matériau dans la zone centrale du remblai où il est protégé des effets du milieu externe et où son volume total est inférieur à celui que nécessiterait, par exemple, son implantation sur le parement amont.

3.2.4. Thin Membrane Faced Fill Dams

Earth and rockfill dams have been constructed using a variety of thin, impermeable upstream membranes. These have ranged from timber and steel to synthetic materials such as butyl rubber, neoprene, PVC, etc.

The use of wooden decks is reported on three Norwegian dams constructed between 1956 and 1959 and with heights from 41 to 52 m. Steel membranes have also been used in a number of countries although clearly long term durability and corrosion is a key issue for this type of material. A description of fill dams with thin facings, principally of synthetic materials such as PVC, is given in ICOLD Bulletin 63 and a more detailed description of experience in the use of thin membranes on fill dams is given in ICOLD Bulletin 38 (1981).

3.2.5. Concrete Core Fill Dams

A number of dams exist throughout the world where the central impermeable membrane is formed from conventional concrete. Again, for example, nine such dams exist in Norway and were constructed between 1930 and 1974. Examples are numerous throughout the world. Two concerns with this type of construction have always been that the rigid internal concrete could artificially support the shoulders of flexible fill material, thus impeding normal settlement of the latter. A second concern is that the development of cracks in any internal concrete core would be both difficult to detect and seal. Options such as bitumen painting the concrete faces to facilitate relative settlement of fill material have been proposed and tried. However, the more common alternative to a conventional concrete core is now one in asphaltic concrete.

3.2.6. Central Asphaltic Concrete Cores

The use of asphaltic concrete cores has increased significantly in recent years with increased confidence in both rockfill compaction techniques and in asphaltic concrete membranes. Between 1980 and 1990, seven such dams were completed in Norway with another two under construction. These had heights of between 51 and 90 m. ICOLD Bulletin 84 (1992) presents existing embankment dams built with bituminous cores of different types, in chronological order from 1948 to 1991. Such cores are less adversely affected by weather conditions than earth cores and also avoid local hillside scars caused by large earth borrow areas. The material is virtually impervious, flexible, resistant to erosion and ageing and offers a jointless core construction. It is particularly appropriate to use the material centrally in the embankment where it is protected from external environmental effects and where its overall volume is minimised compared with that required on for example an upstream face.

3.2.7. Écrans internes en sol-ciment

Le barrage Frauenau (Allemagne), d'une hauteur de 86 m, est mentionné dans le Bulletin 63 comme exemple de barrage de ce type. Du fait que les matériaux pour noyau provenant de quelques zones d'emprunt manquaient d'éléments fins, l'étanchéité du noyau fut améliorée en ajoutant du ciment. Le barrage fut construit par couches compactées, une tranchée étant ensuite excavée, en cours de construction, dans la partie centrale, jusqu'à une profondeur de 1,20 à 1,50 m, puis remplie de sol-ciment pour constituer une paroi interne étanche. Des recommandations sur l'utilisation de sol-ciment dans les barrages en remblai sont données dans le Bulletin 54 (1986).

3.2.8. Noyau constitué par injection

Le barrage Seaham (Australie), de 25 m de hauteur, est donné dans le Bulletin 63 comme exemple de barrage en remblai dont l'organe d'étanchéité est réalisé au moyen d'un noyau central constitué par injection. Les matériaux rocheux étaient déversés dans une zone soumise à un régime de marée, et des écoulements à travers ces matériaux étaient tolérés afin d'entraîner les éléments fins incorporés. Cela facilitait les travaux d'injection ultérieurs qui permirent d'obtenir un écran d'une perméabilité moyenne de 8×10^{-7} m/s.

3.2.9. Barrages en remblai avec noyau d'argile humide

L'utilisation de noyaux d'argile, avec des teneurs en eau bien au-dessus de l'optimum, est également mentionnée dans le Bulletin 63. Deux exemples sont : le barrage Monasavu, de 85 m de hauteur, aux îles Fidji (1982) et le barrage Wadaslintang, de 120 m de hauteur, en Indonésie (1988).

Depuis l'introduction du concept de teneur en eau optimale pour les sols dans les années 1930, il y a eu une tendance à prescrire, pour le compactage, des teneurs en eau égales à - ou proches de - l'optimum afin d'obtenir la densité maximale. En pratique, cela a conduit parfois à une rigidité (consistance) du noyau et provoqué son accrochage entre les recharges rigides, en particulier près de la crête du barrage ; le risque de fracturation hydraulique est ainsi augmenté. La technique consistant à utiliser l'argile à une teneur en eau élevée, en acceptant un compactage plus faible et les déformations qui en résultent, fut appliquée avec succès, pendant plus d'un siècle, au Royaume-Uni, aux noyaux en argile corroyée. Le noyau humide compacté au rouleau est une technique bien expérimentée en Scandinavie, et ayant été également mise en oeuvre aux barrages Scammoden et Llyn Brienne au Royaume-Uni. Les méthodes classiques sont particulièrement difficiles à appliquer dans les régions à forte pluviosité tropicale. Les barrages précités, situés aux îles Fidji et en Indonésie, se sont caractérisés par un matériau présentant une teneur en eau élevée, mais compacté avec un matériel relativement léger, les recharges latérales en enrochement ayant été spécialement conçues pour s'adapter aux contraintes latérales plus élevées. Les contraintes totales verticales dans le noyau dépassent celles des noyaux d'argile classiques et, de plus, les contraintes totales horizontales associées atteignent une proportion plus élevée par rapport aux contraintes verticales et sont donc plus grandes en valeurs absolues que dans un noyau classique, ce qui réduit le risque de fracturation hydraulique.

3.2.7. Central Soil Cement Cores

The Frauenau dam (Germany) with a height of 86 m, is quoted in ICOLD Bulletin 63 as an example of this type of dam. Because the core material from some borrow areas was lacking in fines, the imperviousness of the core was improved by, in effect, introducing this in the form of cement. The dam was constructed by layered compaction, back excavating layers to produce a central trench, and introducing soil cement in this trench to form the central impervious membrane. Recommendations for soil-cement for embankment dams is contained in ICOLD Bulletin 54 (1986).

3.2.8. Grouted Core

The 25 m Seaham weir in Australia is quoted in ICOLD Bulletin 63 as an example of a fill dam made impermeable by centrally grouting an impervious core. Rockfill material was dumped in a tidal regime and through flow was allowed to remove incorporated fines. This facilitated subsequent grouting which produced a diaphragm with a permeability of, on average, 8×10^{-7} m/s.

3.2.9. Wet Clay Core Dams

The use of clay cores with moisture contents well above their optimum values are also introduced in ICOLD Bulletin 63. Two such examples are the 85 m high Monasavu dam in Fiji (1982) and the 120 m high Wadaslintang dam in Indonesia (1988).

Since the advent of the concept of optimum moisture content for soils in the 1930s there has been a tendency to require moisture contents for compaction at or close to such values to ensure maximum density. In practice this has, at times, led to core stiffness and caused hang-up between rigid shoulders, particularly near the dam crest. This in turn has an adverse effect on the potential for hydraulic fracture. The technique of using clay at a high natural moisture content, accepting lower compaction and accommodating consequent deformations was successfully applied in UK puddle clay cores for over a century. Wet rolled core compaction is a well tried technique in Scandinavia whilst Scammodem and Llyn Brianne dams in the UK both featured wet rolled core type construction. Conventional methods are especially difficult in areas of high tropical rainfall. The dams mentioned above in Fiji and Indonesia, therefore featured high moisture content material but compacted using lightweight dosers and with adjacent rockfill shells specially designed to accommodate the higher lateral stresses produced. Total vertical stresses in the core exceed those of conventional clay cores with horizontal to vertical stress ratios, reducing the risk of hydraulic fracture.

Dans les régions à fortes pluies tropicales, la technique du noyau d'argile humide permet la poursuite de la construction par temps très pluvieux, alors que d'autres méthodes nécessiteraient l'arrêt des travaux. Cela représente donc des avantages économiques.

3.2.10. Étanchéités par membranes minces internes

Le Bulletin 38 (1981) consacré à l'utilisation d'étanchéités minces dans les barrages en remblai contient des informations précises sur les crêtes des barrages et d'autres détails concernant l'emploi de telles membranes. Ils sont aussi indiqués brièvement dans le Bulletin 63. Les matériaux cités comprennent des membranes minces d'acier et des géomembranes.

Le barrage Serebryanskaya (URSS), de 64 m de hauteur, est donné, dans le Bulletin 63, comme exemple de barrage en remblai muni d'une membrane d'étanchéité mince en acier. On signale que la membrane était soutenue au cours de la mise en place en utilisant des palplanches en acier assemblées par serrure ; les joints faisaient l'objet d'une soudure électrique et étaient rendus étanches par une bande de caoutchouc ou un mastic spécial.

Un autre exemple de membrane interne en acier est fourni par un barrage en Allemagne, où une tôle d'acier ondulée fut utilisée spécialement pour s'adapter aux tassements verticaux du remblai. Un exemple de barrage en remblai équipé d'une membrane mince de polymère est également mentionné dans le Bulletin 63. Il est indiqué que ce matériau s'adapte bien aux tassements et que, situé dans la partie centrale du barrage, il est protégé contre les rayons solaires et autres formes d'altération provenant du milieu extérieur.

3.2.11. Barrages en terre armée

Des exemples et recommandations concernant l'enrochement armé et le remblai armé pour barrages sont contenus dans le Bulletin 89 (1993). Cette technique semble être née en France et deux exemples de barrage de ce type figurent dans le Bulletin 63. Un avantage particulier de conception est que le talus amont muni d'une membrane d'étanchéité peut être associé à un parement aval vertical soutenu par une zone en terre armée. Un tel ouvrage permet un déversement direct sur la crête et la création d'un bassin d'amortissement contrôlé à l'aval immédiat du pied aval du barrage.

3.2.12. Barrages en remblai/maçonnerie

Ce type de barrage peut être considéré comme une variante de la technique du remblai armé mentionnée ci-dessus. Le Bulletin 63 décrit le barrage en remblai déversant, du type Zhaogushe, réalisé en Chine. Ce type de barrage se caractérise par une zone amont inclinée en argile et un mur de soutènement aval, presque vertical, en maçonnerie. Entre les deux, il y a un prisme d'enrochement. Comme dans la solution « terre armée », une telle conception permet un certain déversement sur la crête du mur en maçonnerie - un évacuateur de crue séparé n'étant pas ainsi nécessaire - à condition qu'un bassin d'amortissement contrôlé existe à l'aval immédiat du barrage.

In high rainfall tropical areas the technique also allows construction to continue at times of high rainfall, when other methods would require construction to be abandoned. This has inevitable economic advantages.

3.2.10. Thin Central Membrane Cores

ICOLD Bulletin 38 on the use of thin membranes on the fill dams (1981) contains precise information on crests of dams and other details relevant to the use of such membranes. They are also briefly addressed in ICOLD Bulletin 63. Materials quoted include thin steel impervious membranes and geomembranes.

The Serebryanskaya dam (64 m high) in the USSR is quoted in ICOLD Bulletin 63 as an example of a fill dam constructed using a central steel membrane. The membrane is reported to have been supported during erection using sheet piles. Piles were lock jointed and joints formed both with electric welding and with rubber and mastic sealant trips.

Another example of a central steel membrane is a dam in Germany where a corrugated steel membrane was used specifically to accommodate vertical settlement of the fill material. An example of a fill dam incorporating a central core of thin polymer is also quoted in ICOLD Bulletin 63. It is noted that this material adequately accommodates settlement and, being located centrally, is protected against sunlight and other external environmental forms of degradation.

3.2.11. Reinforced Earth Dams

Examples and recommendations for reinforced rockfill and reinforced fill for dams are contained in ICOLD Bulletin 89 (1993). This technique appears to have been pioneered in France and again two examples are quoted in ICOLD Bulletin 63. A particular design advantage is that an upstream sloping and impervious membrane can be combined with a vertical downstream face supported by reinforced earth techniques. This allows the possibility of a direct crest overflow and the formation of a controlled plunge pool at the immediate downstream toe of the dam.

3.2.12. Fill/Masonry Dams

This can be considered as a variant on the reinforced fill design described above. ICOLD Bulletin 63 describes the Zhaogushe type of overflow rockfill dam from China. This type of dam features an upstream sloping clay zone and a near vertical downstream supporting wall of masonry. The two are separated by an intermediate wedge of rockfill. As with the reinforced earth alternative mentioned above this type of design allows a limited degree of overtopping of the masonry, eliminating the need for the separate spillway, provided that a controlled plunge pool can form immediately downstream of the dam.

3.2.13. Évacuateurs de crue implantés sur des barrages en remblai

Une des causes de l'augmentation du coût d'un barrage en remblai dans une région connaissant de forts débits de crues peut être la nécessité de construire un évacuateur séparé en béton, bien que le coût soit parfois atténué si les matériaux excavés sont utilisables comme remblai du barrage. Une possibilité de supprimer ou, au moins, de réduire un tel ouvrage est d'implanter un évacuateur classique sur le talus aval du remblai. De telles conceptions ont été expérimentées avec succès en Chine et en URSS. Dans ce dernier pays, il s'agit parfois d'un coursier constitué de blocs se chevauchant, dont le principe se rapproche de celui des tuiles d'une toiture.

Un exemple plus important est le barrage Crotty (Tasmanie), de 82 m de hauteur. Ce barrage achevé en 1991 se caractérise par un masque amont en béton et un raccordement étanche à un coursier aval classique implanté directement sur le remblai. Les longues sections de béton sont articulées, leurs joints munis d'une étanchéité adéquate permettant un certain tassement.

3.2.14. Barrages réalisés par sautage contrôlé

Un certain nombre de barrages, principalement en URSS et en Chine, ont été réalisés par sautage contrôlé. Le Bulletin 63 en donne quelques exemples. Un de ceux-ci est le barrage Medeo en URSS. Il s'agit d'un barrage, de 73 m de hauteur, construit en 1967 au moyen de deux grands sautages sur chaque rive, représentant un volume total de matériaux de 2,4 millions de m³ environ. Au barrage Baipaza (URSS), cette technique a permis de supprimer les tunnels d'accès de grandes dimensions, les batardeaux provisoires, le traitement de la fondation, et de réduire la main-d'œuvre. La durée de construction fut raccourcie de deux ans et le coût des travaux fut diminué de 36 %.

3.3. BARRAGES EN BÉTON/MAÇONNERIE - HISTORIQUE

La construction des barrages en maçonnerie remonte à plusieurs siècles, ce type de barrage se caractérisant par des zones externes en maçonnerie de pierres appareillées, les zones internes étant constituées de blocs bruts liés au ciment de chaux. Il y a de nombreux excellents exemples de telles constructions anciennes, sous la forme de profil-poids classique, mais aussi sous la forme de barrage-voûte. Cette technique fait appel à une main-d'œuvre intense, mais peut être encore avantageuse et adoptée dans des pays où le coût de la main-d'œuvre est bas. Des barrages en maçonnerie se remarquent toujours dans des pays tels que la Chine.

Dans les pays où les coûts de la main-d'œuvre ont augmenté, la maçonnerie a été progressivement remplacée par le béton. Le barrage en béton actuel résulte de ce changement rendu également possible grâce aux progrès réalisés dans le domaine des ciments. Initialement, on témoignait quelque déférence à l'incorporation de gros moellons. De gros blocs étaient souvent incorporés dans les anciens barrages en béton pour économiser du béton. Ceux-ci étaient désignés sous le terme de barrages en « béton cyclopéen ». Toutefois, les coûts prédominaient encore, et l'on s'aperçut que les coûts de main-d'œuvre correspondant à l'incorporation de tels

3.2.13. Incorporated Spillways on Fill Dams

One of the associated high costs of a fill dam in a region where flood flows are high, can be the need to construct a separate concrete spillway structure, although costs may be partially offset if the excavated material can be used as dam fill. One way to eliminate, or at least minimise, such requirements is to incorporate a conventional spillway on the downstream face of the embankment. Designs of this type have been successfully tried in both China and the USSR. In the case of the latter they sometimes take the form of overlapping chute blocks, incorporating a principle not unlike that of roof tiles.

A more substantial example is that of the 82 m high Crotty dam in Tasmania. This dam completed in 1991 features an upstream concrete membrane and a sealed connection to a conventional downstream chute sited directly on the embankment. Long sections of concrete are articulated with adequate sealing between them but also allowing for some settlement.

3.2.14. Blasted Dams

A number of dams, particularly in the USSR and China, have been formed by controlled blasting. A number of such examples are again contained in Bulletin 63. One of these is the Medeo dam in the USSR. This is 73 m high and was constructed in 1967 by two large blasts on either abutment. The volume of material moved was approximately 2.4 million m³. At the Baipaza dam, in the USSR, it was reported that the method eliminated large access tunnels, temporary coffer dams and foundation and labour requirements. It was reported that the construction period was cut short by two years and the construction cost decreased by 36%.

3.3. CONCRETE/MASONRY DAMS - BACKGROUND

The construction of masonry dams goes back many centuries, the typical arrangement of such a dam is for outer zones to be formed in dressed stonework and for inner zones to be filled with rubble, cemented with lime mortar. There are many excellent examples of such historic constructions in the form of either conventional gravity sections but extending to arch dams. The technique is labour intensive but can still be favoured and practised where labour costs are low. Masonry dams still feature highly in countries such as China.

Where labour costs have increased the use of masonry was gradually replaced by concrete. The modern concrete dam is the result of this change which also became possible with the development of modern cements. Initially some deference was paid to the incorporation of large pieces of stonework. Large boulders were often incorporated in early concrete dams, to save concrete. These were known as "plums". Again however, costs dominated and it became realised that the labour costs involved in hand placing such large stones and adequately dressing and compacting the mortar around them, more than offset the savings in concrete

blocs et à une mise en place et à un compactage satisfaisants du mortier autour d'eux dépassaient les économies de béton et de ciment réalisées. Cette pratique est donc maintenant largement abandonnée et le béton classique est généralement utilisé pour la construction.

Le béton ou la maçonnerie repose sur son poids mort et la résistance au glissement pour assurer la stabilité. Dans la plupart des cas, les contraintes sont très faibles et ne constituent pas les critères pour la résistance du béton. Ces critères sont plutôt une quantité minimale de ciment et un rapport minimal eau/ciment afin de produire un mélange de pérennité satisfaisante. De nombreuses techniques ont été essayées au cours des années écoulées en vue de réduire le volume de béton. C'est le cas des barrages à contreforts où une paroi amont est supportée par des contreforts aval. La qualité exigée pour le béton d'un tel barrage est supérieure à celle du béton d'un barrage-poids classique ; une augmentation du coût des coffrages est compensée par des économies dans le volume de béton. Un avantage présenté par un barrage à contreforts est la réduction des sous-pressions du fait qu'une partie de la fondation est à l'air libre. Des barrages à contreforts ont été construits avec succès dans toutes les parties du monde ; il faut toutefois signaler qu'ils perdent leur caractère économique pour des hauteurs inférieures à 30-40 m environ et qu'ils n'ont pas été en vogue au cours de ces dernières années en raison des coûts de coffrage et de main-d'œuvre.

Les barrages-poids évidés sont essentiellement un compromis entre un barrage-poids classique et un barrage à contreforts, des vides internes étant constitués pour réduire le volume du béton ; mais ici encore, cela n'est pas valable si le coût de réalisation des vides dépasse le coût du béton économisé.

Au cours de ce siècle, d'importants progrès ont été réalisés dans la technique des barrages-voûtes. La méthode des éléments finis a permis la construction de voûtes particulièrement élancées, ce qui, dans de nombreux cas, a conduit à des économies notables. Les barrages-voûtes conviennent spécialement aux ouvrages de grande hauteur situés dans des vallées étroites et, statistiquement parlant, ils représentent, avec les barrages-poids en béton, le type de barrage le plus sûr.

Le barrage poids-voûte a une forme courbe en plan, mais une section beaucoup plus épaisse qu'une voûte, grosso modo la moitié de l'épaisseur d'un profil de barrage-poids. En théorie, la charge est transférée aux fondations basses par cisaillement et aux appuis latéraux par effet voûte. En pratique, les analyses montrent qu'une flexion insuffisante se produit sous l'effet des charges pour qu'un effet voûte important se développe. Le fait que de tels barrages ont été construits et exploités avec succès suggère qu'ils se comportent plus comme un coin dans lequel la charge est transférée par effet de cisaillement entre le fond de la vallée et les versants.

Le progrès, sans doute le plus important, réalisé au cours de ces dernières années dans la construction des barrages en béton a été l'introduction du béton compacté au rouleau, faisant l'objet du chapitre ci-dessous.

and cement produced. The practice has therefore now been largely abandoned and conventional concrete is generally used throughout construction.

The basic concrete or masonry relies on its dead weight and sliding resistance for stability. In most such cases stresses are very low and do not represent the criteria for concrete strength adopted. This is instead generally a minimum amount of cement and minimum required water cement ratio to produce a suitably durable mix. In view of this many techniques have been attempted over the years in order to reduce concrete volume. Buttress dams accommodate this by supporting an upstream facing wall with downstream counterforts. The concrete quality required for such a dam is superior to that of a conventional gravity dam, savings in concrete may also be offset by increased costs of shuttering. Design benefits are, however, gained in that the open foundation produced by a buttress dam reduces uplift pressures on the structure. Buttress dams have been successfully constructed in all parts of the world although generally they do not become economic below heights of about 30-40 m and have not been particularly popular in recent years due to the associated labour and shuttering costs.

Hollow gravity dams are essentially a compromise between a conventional gravity section and a buttress dam in that internal voids are formed simply to reduce concrete volume, again this is not viable if the cost of forming the void outweighs the cost of concrete saved.

This century has seen particular advances in the understanding and design of arch dams. Finite element techniques have enabled the production of particularly slender examples of this type of construction and in many cases, this has led to notable economies. They are particularly suitable as high dams in narrow valleys and statistically speaking, with concrete gravity dams, represent the safest type of dam.

The arch gravity dam has an arch shape in plan but a much thicker section, typically half the section thickness of a gravity dam. In theory the load is thus shed between the foundations by shear and the abutments, by arch action. In practice it can be shown from analysis, that insufficient deflection generally takes place under working loads for much arch action to develop. The fact that such dams can and have been successfully built and operate successfully suggests that they operate in more of the form of a wedge in which load is transferred by shear action between the valley bed and the valley sides.

Perhaps the most significant development in the construction of concrete dams in recent years has been the introduction of roller compaction methods for concrete construction and this is discussed further below.

3.4. BARRAGE EN BÉTON COMPACTÉ AU ROULEAU

Au cours de ces dernières années, le nombre de barrages en béton construits en utilisant la technique du béton compacté au rouleau a considérablement augmenté. Le développement de cette technique de construction a grosso modo suivi trois voies distinctes.

Au Japon, une technique maintenant bien établie consiste à réaliser un barrage-poids en béton, de type classique, en utilisant le compactage au rouleau, mais en formant des joints transversaux par découpage du béton en plots, ces joints étant munis, à l'amont et à l'aval, de lames d'étanchéité. Des économies de l'ordre de 10 % par rapport aux méthodes traditionnelles ont été obtenues. La méthode ne semble pas avoir été utilisée en dehors du Japon.

La méthode « béton maigre sec », mise en œuvre la première fois au barrage Willow Creek aux États-Unis, consiste à construire le corps d'un barrage-poids classique en utilisant le compactage au rouleau et un béton maigre sec. Dans ce cas, une attention particulière est portée à l'étanchéité du parement amont en adoptant du béton classique, des panneaux de béton préfabriqués, ou des membranes en acier ou composites.

La troisième méthode, développée au Royaume-Uni mais initialement appliquée à grande échelle au barrage Upper Stillwater (États-Unis), consiste à utiliser pour le corps du barrage un mélange à pâte élevée. Dans ce cas, les matériaux de remplacement du ciment servent à augmenter la teneur en éléments fins et à réduire la perméabilité du mélange en vue d'obtenir un corps de barrage parfaitement étanche.

Les deux dernières méthodes ont évolué dans le temps. À Willow Creek, les fuites, bien que ne mettant pas en péril le fonctionnement du barrage, furent jugées inacceptables et un important programme d'injections fut entrepris pour améliorer l'étanchéité de l'ouvrage. À Upper Stillwater, une fissuration se développa dans le temps, ce qui conduisit à des travaux d'injection pour maintenir l'étanchéité de l'ensemble du corps du barrage. La méthode du béton maigre sec et de la membrane étanche amont est toujours utilisée, mais on porte maintenant une plus grande attention à la constitution de l'étanchéité amont. Dans le cas de mélanges à pâte élevée, ceux-ci ont évolué maintenant vers des mélanges à pâte moyenne et des inducteurs de fissures ont été mis en place à l'amont et à l'aval, à intervalles réguliers. De cette façon, si une fissuration se produit ultérieurement, les fissures se forment dans des endroits prédéterminés et contrôlés, et des dispositifs d'étanchéité installés préalablement empêchent les percolations. En fait, on permet à l'ouvrage de se comporter comme un ouvrage réalisé avec des méthodes classiques et où le béton est mis en place sous forme de plots séparés. L'avantage de la technique du béton compacté au rouleau est que des économies résultent de l'utilisation de matériel lourd de terrassement et d'une main-d'œuvre minimale permettant de réduire les coûts de bétonnage.

Le Bulletin CIGB 75 (1989) est consacré au « Béton compacté au rouleau pour barrages-poids - Technique actuelle ». Mais, actuellement, la méthode continue à évoluer dans divers pays.

3.4. ROLLER COMPACTED CONCRETE DAMS

Recent years have seen a dramatic increase in the number of concrete dams being constructed using roller compacted concrete techniques. Broadly development of this type of construction method has followed three distinct paths.

In Japan a technique, now well established, is to form a conventional type of concrete gravity dam using roller compacted methods, but to then form joints through the structure by cutting the concrete into blocks and incorporating upstream and downstream joint sealing strips. Savings are approximately 10% over traditional methods have been claimed. The method does not appear to have been used outside Japan.

The dry-lean approach pioneered at the Willow Creek dam in the USA is to form the body of a conventional gravity dam using a roller compacted and relatively poor dry-lean mix. In this case particular attention is paid to water proofing the upstream face using either conventional concrete, precast panelling, steel or composite membranes.

The third method, developed in the UK but initially used on a significant scale for the Upper Stillwater dam in the USA, is to form the body of the dam using a high paste mix. In this case cement replacement materials are used to increase the fine content and minimise the permeability of the mix with the intention of producing effectively, an impermeable dam body throughout.

Both the last two methods have been adapted with time. At Willow Creek leakage, although not threatening the purpose of the dam, was considered to be unacceptable and considerable remedial grouting took place to improve the water tightness of the structure. At Upper Stillwater long term cracking developed which again led to remedial grouting in order to maintain the water tightness of the overall dam body. Although the dry-lean and waterproof upstream membrane approach is still used there is now an increased awareness of the need to pay careful attention to what form the upstream waterproofing takes. In the case of higher paste mixes these have rather developed now towards medium paste mixes and incorporate upstream and downstream crack inducers at regular intervals. This ensures that if and when cracking subsequently occurs such cracks form in controlled places and seepage is prevented by pre-placed barriers. In effect the structure is allowed to develop into that which would have occurred with using traditional methods and with concrete placed in separate blocks. The advantage of the roller compacted technique is that benefits are gained from use of heavy earth moving equipment and minimal labour requirements in order to reduce concrete placement costs.

ICOLD Bulletin 75 (1989) discusses roller compacted concrete for gravity dams - "state of the art" although the method is, at the time of writing, still developing and being adapted in different parts of the world.

3.5. UTILISATION D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

Cette technique ne s'applique pas à un type particulier de barrage et l'utilisation importante d'éléments préfabriqués en béton passe souvent inaperçue malgré la forte réduction des coûts résultant de la diminution de la durée globale des travaux. On peut avancer que l'utilisation de tels éléments double la manutention du béton, mais, en pratique, cette technique est souvent adoptée par les entrepreneurs, à leur propre initiative, pour accélérer les étapes-clés du programme de construction du barrage.

Les éléments de pont et de parapet sur les crêtes de barrages sont des exemples manifestes. D'autres exemples comprennent des escaliers préfabriqués, des coffrages « perdus » pour la constitution de cintres et de galeries internes dans les barrages. Cette dernière disposition est particulièrement intéressante dans le cas d'un barrage-voûte où un refroidissement du béton est nécessaire. Les tuyaux de refroidissement peuvent être directement reliés aux sections de galerie réalisées avant le bétonnage adjacent. Cela facilite le passage pour la circulation de l'eau de refroidissement dès que le béton a été coulé, et évite qu'il ne soit nécessaire de décoffrer ultérieurement, etc. Il y a de nombreux autres exemples d'utilisation réussie d'éléments préfabriqués pour réduire la durée de construction des barrages, cette question devant faire l'objet d'un prochain Bulletin CIGB.

3.6. FONDATIONS DE BARRAGES

Les fondations de barrages représentent un domaine où, sans doute, le plus d'incertitudes existent. Les fondations sont destinées à servir d'appui au corps du barrage, à constituer une barrière suffisamment étanche contre les percolations provenant de la retenue, les sous-pressions devant être réduites pour ne pas mettre en danger la sécurité du barrage. Dans les premiers barrages, le dispositif d'étanchéité de la fondation était souvent constituée par un tapis amont en argile, ou en excavant une tranchée continue profonde, remplie avec du béton. Dans le cas de barrages-poids en béton, le raccordement entre le pied amont et le rocher de fondation amont était fermée par de l'argile afin de constituer un dispositif d'étanchéité flexible et durable. Une telle étanchéité était souvent complétée par l'alluvionnement ultérieur dans la retenue. De nos jours, les techniques de forage disponibles, à un coût raisonnable, conduisent à la réalisation de rideaux d'injection et de rideaux de drainage. Le traitement adéquat des fondations de barrages est traité dans le Bulletin 88 « Fondations rocheuses de barrages » (1993). Il faut bien distinguer la fonction d'un rideau d'injection et celle d'un rideau de drainage. Le but du rideau d'injection est essentiellement d'augmenter l'étanchéité du réservoir et d'empêcher les pertes d'eau. Le but du rideau de drainage est de décharger les pressions d'eau internes dans la roche et, dans le cas des barrages-poids en béton, de réduire les sous-pressions.

Lorsque les forages indiquent une roche relativement étanche avec des valeurs Lugeon faibles, on s'attachera principalement à constituer un rideau de drainage réduisant efficacement les pressions d'eau internes. Lorsque la roche apparaît relativement perméable, la décharge des pressions d'eau internes ne posera pas de problèmes et pourra être assurée tout-à-fait convenablement par la roche

3.5. USE OF PRECAST UNITS

This does not relate to a specific type of dam and the extensive use of precast units often goes unnoticed although it can be a major factor in reducing costs by reducing overall construction time. It can be argued that the use of precast units represents the double handling of concrete but in practice it is often adopted by contractors at their own request in order to accelerate key parts of dam construction.

Bridges and parapet units to form dam crests are obvious examples. Other examples include precast stairs, "lost" permanent shuttering where soffits are required and to form internal galleries within dams. The last can be particularly advantageous in the case of arch dam where cooling is required. Cooling pipes can be connected directly through to precast gallery sections placed prior to the adjacent concrete. This facilitates access for cooling water circulation immediately the concrete has been placed and avoids the need for subsequent shutter removal etc. There are numerous other examples of the successful and appropriate use of precast units to accelerate construction of dams and, at the time of writing, this is to form the subject of a separate ICOLD Bulletin.

3.6. DAM FOUNDATIONS

The foundations of dams represent an area where perhaps, the most uncertainty exists. The foundations are required to support the main body of the dam, to form a sufficiently watertight barrier to the reservoir while at the same time not to produce unacceptable internal pore/uplift pressures that will threaten dam security. In previous centuries sealing the foundation of a dam was often accomplished by the use of upstream clay blankets or by the excavation of deep continuous diaphragm walls, typically backfilled with concrete. In the case of concrete gravity dams the gap between the upstream plinth and upstream foundation rock was, typically, plugged with clay in order to produce a flexible and durable seal. Such a seal was often supplemented by subsequent sedimentation in the reservoir. Nowadays the availability of cost effective drilling techniques leads typically to the formation of upstream grout and drainage curtains. The appropriate treatment of foundations in dams is discussed in the ICOLD Bulletin 88 "Rock Foundations for Dams" (1993). It is worth noting the key distinction between the function of the grout curtain and the drainage curtain. The purpose of the grout curtain is essentially to increase the watertightness of the reservoir and to prevent water loss. The purpose of the drainage curtain is to relieve internal pore pressures in the rock and in the case of concrete dams, to reduce uplift pressures.

Where drilling indicates a relatively tight rock with low Lugeon values, the emphasis should be on the formation of an adequate pressure reducing drainage curtain. Where a relatively permeable rock is suggested, clearly pressure relief will not be a problem and indeed may be accommodated quite adequately by the rock itself. The emphasis here should be on the production of an adequate grout curtain

elle-même. Dans ce cas, on s'attachera principalement à constituer un rideau d'injection approprié pour empêcher les pertes d'eau. En pratique, les deux dispositifs sont installés et des économies peuvent être réalisées au moyen d'une conception soignée et d'un contrôle des deux dispositifs au cours de la construction, afin de s'assurer que le bon choix est fait compte tenu des résultats obtenus et qu'il n'y a pas de dépenses inutiles de forage et de traitement.

Le Bulletin 83 signale que, dans le cas où un débit réservé doit être lâché à l'aval sur une longue période, il peut s'avérer économique de ne pas étancher complètement les fondations mais de laisser délibérément des fuites traverser celles-ci, ce qui réduit le coût de traitement des fondations et le coût des ouvrages de restitution qui, sans cela, seraient nécessaires. Si une telle décision est prise, il est important, bien entendu, de s'assurer que de telles fuites ne progresseront pas dans le temps.

3.7. OUVRAGES D'ÉVACUATION

Les ouvrages d'évacuation examinés ici comprennent les ouvrages de prise et de sortie spécialement destinés à la restitution des débits réservés à l'aval et/ou à la compensation de prélèvements d'eau futurs. Les ouvrages de maîtrise des crues, faisant l'objet du Bulletin 108, ne seront pas traités ici. Les ouvrages de restitution associés aux barrages en remblai comportent généralement une tour de prise amont. Cet ouvrage est parfois accessible au moyen d'un pont et, dans d'autres cas, par bateau et échelle. Dans cette dernière solution, le coût du pont est économisé, à condition qu'il ne soit pas nécessaire à d'autres fins. Dans les régions à forte sismicité, la conception de telles tours exige une grande attention et ces tours sont parfois des ouvrages relativement coûteux. La rupture d'une tour de prise entraînera l'évacuation non maîtrisée de débits à l'aval ; des contrôles de sécurité de barrages au Canada ont conduit à prescrire l'installation de vannes batardeaux comme organe de sécurité économique vis-à-vis d'un tel phénomène. En d'autres termes, il est plus économique de prévenir l'évacuation d'un débit que de renforcer suffisamment la tour pour empêcher toute possibilité de rupture.

Une importante question qui se pose dès le début, lors de la conception de tels ouvrages de restitution, est la nécessité ou non de prises d'eau multiples à divers niveaux. Elles peuvent convenir pour l'irrigation ou l'alimentation en eau mais, compte tenu de l'emplacement de l'ouvrage et d'autres aspects environnementaux, on peut s'en passer dans certaines circonstances. C'est le cas du barrage Samanalawewa, au Sri Lanka, où des prises d'eau multiples n'étaient pas nécessaires, ce qui a permis de supprimer la tour de prise. Une bonne sécurité amont a été obtenue en utilisant des vannes-papillon, elles-mêmes protégées par des batardeaux amont pouvant, si nécessaire, être mis en place avec l'aide de plongeurs. L'accès en exploitation se fait depuis l'aval, les galeries de dérivation provisoire ayant été transformées en deux ouvrages de restitution. Dans certains cas, il peut être économique de constituer une chambre de dissipation d'énergie à l'extrémité amont d'une galerie de restitution, en utilisant des vannes Howell-Bunger, à jet creux, et des déflecteurs, comme au barrage Ramganga en Inde. Cette solution réduit la longueur de conduite en acier à l'aval, qui serait sans cela nécessaire, et permet d'obtenir des écoulements à faible vitesse dans la galerie, ce qui ne néces-

to prevent water loss. In practice both are typically installed and savings can be made by the careful design and monitoring of both during construction to ensure that the correct emphasis is being applied depending on the results encountered and unnecessary resources are not being wasted on unneeded drilling and treatment.

It has been pointed out in ICOLD Bulletin 83, that where a long term downstream flow is required for compensation purposes it may in fact be cost effective to not completely seal foundations but to deliberately allow a proportion of required leakage and hence save both the cost of foundation treatment and the cost of the, otherwise required, outlet works. Where such a decision is taken it is of course important to ensure that such seepage will not be progressive.

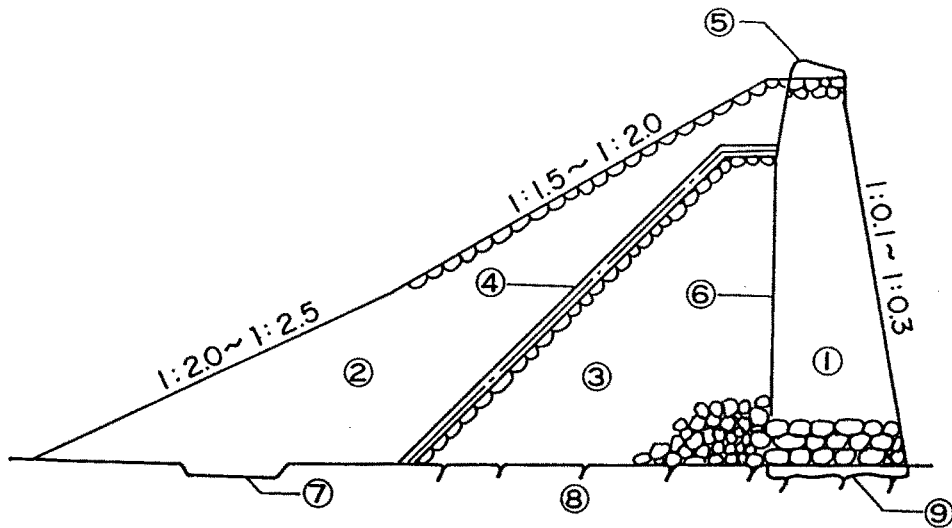
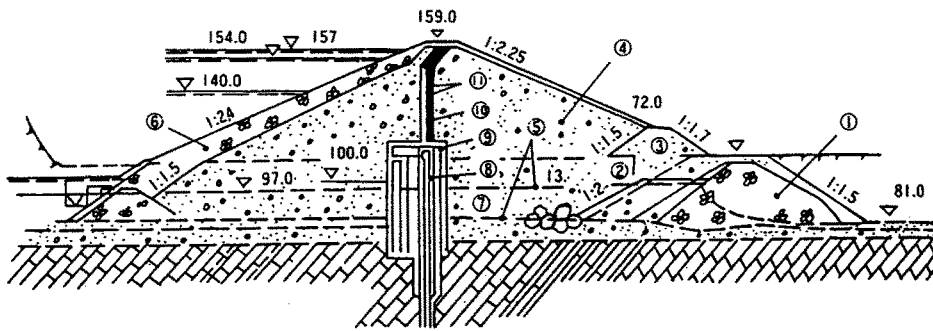
3.7. OUTLET WORKS

Outlet works discussed here will comprise intake structures and outfalls specifically for controlled water release downstream typically for compensation and/or subsequent abstraction. Comments will not be made on flood control works which are the subject of ICOLD Bulletin 108. Outlet works associated with fill dams commonly feature an upstream intake tower. This sometimes has an approach bridge but in other cases is approachable only by boat and access ladder. In the latter case the cost of the bridge is an immediate saving, provided it is not required for other purposes. In high seismic areas the design of such towers requires great care and can require a relatively expensive structure. The failure of an intake tower will result in uncontrolled flows being released downstream and safety audits of dams in Canada have resulted in a requirement for the retro fitting of steel bulk head doors as a cost effective security against such an occurrence. In other words it is more cost effective to prevent the outflow than to reinforce the tower sufficiently to prevent the possibility of upstream failure.

An important question to ask at the outset, for the design of any such outlet works, is whether multi level draw-offs are required. They may well be for irrigation and water supply purposes but, depending on the location and other environmental aspects, in some circumstances may not be. This was the case at the Samanalawewa dam in Sri Lanka where the non requirement for multiple level draw-offs enabled the elimination of the intake tower. Adequate upstream security was provided by the use of reversible, double leaf butterfly valves, themselves protected by upstream stoplogs which could, if required, be replaced by diver. Operational access was from downstream and the two outlets were effectively converted from the original diversion tunnels. In other cases it may be cost effective to form a stilling basin at the upstream end of any outlet tunnel, using sleeve valves and deflectors such as Ramganga dam in India. This produces savings in lengths of downstream steel pipework otherwise required and, also produces low velocity flows in the tunnel which do not require any special lining. In fact where the outlet in question is a diversion tunnel the velocities would be of a similar order to those encountered during diversion.

site pas de revêtement de protection. En fait, si l'ouvrage d'évacuation en question est une galerie de dérivation, les vitesses d'écoulement seront à peu près identiques à celles observées au cours de la dérivation de la rivière.

Lorsque des débits à vitesse élevée sont évacués à l'extrémité aval des ouvrages de restitution, des économies peuvent être réalisées sur les ouvrages de dissipation d'énergie en adoptant des cuillères de déflexion et des fosses d'amortissement au lieu de bassins de dissipation, de construction coûteuse. De fait, pour les fortes charges et les vitesses d'écoulement élevées, ce dispositif constitue non seulement une solution économique, mais également procure la meilleure sécurité d'exploitation et réduit les travaux d'entretien.



Where high velocity flows are discharged at the downstream end of outlet works, savings in energy dissipation works can be made by the adoption of flip buckets and plunge pools rather than by the construction of expensive stilling basins. In fact for high head and high velocity flows this not only represents a cost effective option but also probably, represents the option with the most operational and maintenance free security.

Fig. 5.

Atbashi dam (USSR) with a polyethylene membrane
Barrage Atbashi (URSS), avec une membrane de polyéthylène

- | | |
|---|--|
| (1) Banquette | (1) <i>Banquette en enrochement érigée à l'aide d'un sautage orienté</i> |
| (2) Transition zone with inverted filter | (2) <i>Zone de transition avec filtre inversé</i> |
| (3) Supporting stone banquette | (3) <i>Banquette support en pierres</i> |
| (4) Sand-boulder soil | (4) <i>Sable et blocs</i> |
| (5) Sub-water soil dump | (5) <i>Remblai déversé sous l'eau</i> |
| (6) Coarse stones | (6) <i>Pierres grossières</i> |
| (7) Grout curtain in sand-gravel | (7) <i>Rideau d'injection dans le sable-gravier</i> |
| (8) Concrete block | (8) <i>Plot en béton</i> |
| (9) Gallery | (9) <i>Galerie</i> |
| (10) 0.6 mm thick film membrane | (10) <i>Membrane mince (épaisseur 0,6 mm)</i> |
| (11) Additional protective membrane of 0.6 mm thick polyethylene film | (11) <i>Membrane complémentaire de protection en polyéthylène, de 0,6 mm d'épaisseur</i> |

Fig. 6.

A Zhaogushe type overflow dam (PR of China) of earth, rockfill and masonry
Barrage déversant en terre, enrochement et maçonnerie, type Zhaogushe (République Populaire de Chine)

- | | |
|-------------------------------|---|
| (1) Dry-laid masonry | (1) <i>Maçonnerie de pierres sèches</i> |
| (2) Sloping clay core | (2) <i>Noyau incliné en argile</i> |
| (3) Rockfill placed in layers | (3) <i>Enrochement mis en place par couches</i> |
| (4) Filters | (4) <i>Filtres</i> |
| (5) Spillway crest | (5) <i>Crête de l'évacuateur de crue</i> |
| (6) Rough interface | (6) <i>Liaison rugueuse</i> |
| (7) Key trench | (7) <i>Tranchée parafouille</i> |
| (8) Rock foundation | (8) <i>Fondation rocheuse</i> |
| (9) Concrete base | (9) <i>Soubassement en béton</i> |

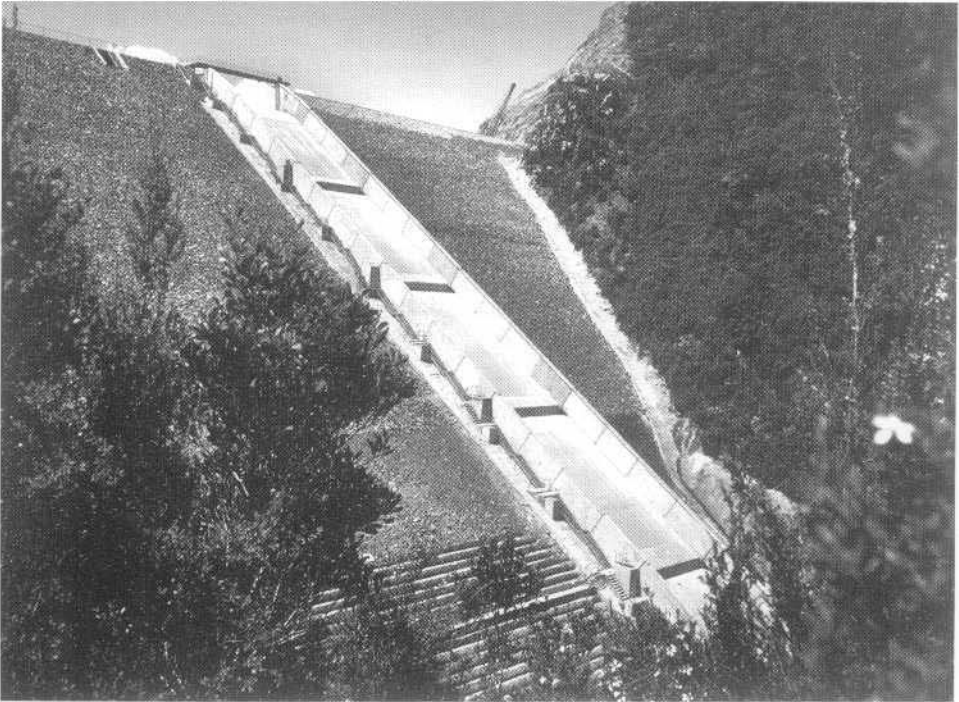
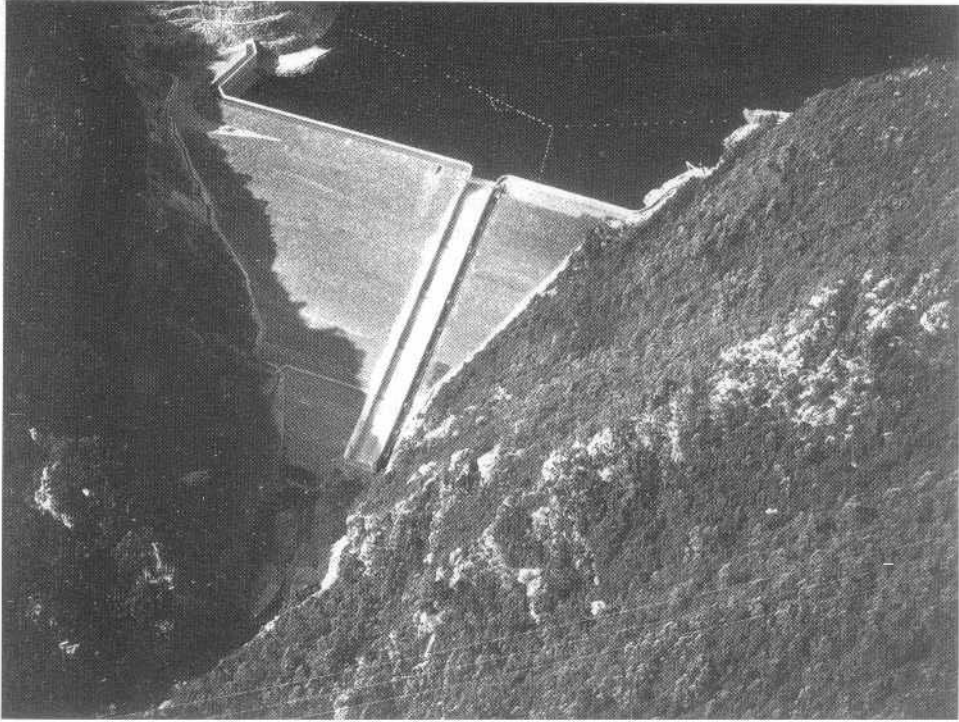


Fig. 7.

Crotty concrete faced rockfill dam (Australia) featuring an integral spillway on the downstream face
(Reproduced by kind permission of HEC Tasmania)

*Barrage Crotty (Australie) en enrochement, à masque amont en béton,
avec évacuateur de crue implanté sur le talus aval
(Photos reproduites avec la bienveillante permission de HEC Tasmania)*

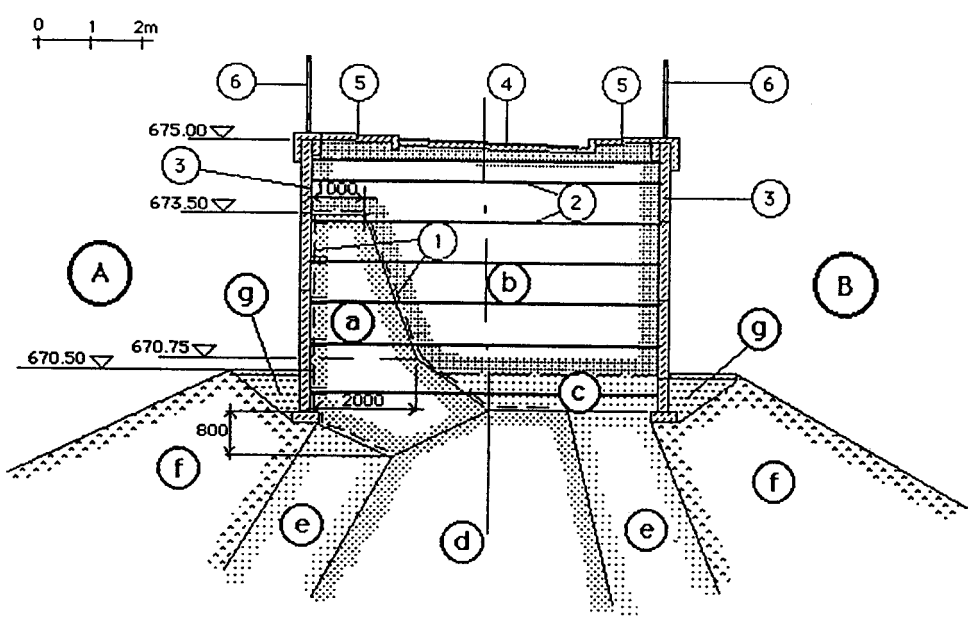


Fig. 8.

Cost-effective raising of Googang dam (Australia) using reinforced rockfill

Barrage Googang (Australie) - Surélévation économique en utilisant de l'enrochement armé

- | | |
|---|--|
| (A) Upstream | (A) Amont |
| (B) Downstream | (B) Aval |
| (a) Zone 1, impervious fill | (a) Zone 1, remblai imperméable |
| (b) Select granular fill | (b) Remblai graveleux trié |
| (c) Nominal 500 mm thick zone of finer select granular fill | (c) Zone de matériaux triés plus fins, de 500 mm d'épaisseur théorique |
| (d) Earthfill core | (d) Noyau en terre |
| (e) Filter | (e) Filtre |
| (f) Rockfill | (f) Enrochement |
| (g) Second stage rock backfill | (g) Remblai rocheux de deuxième phase |
| (1) Geotextile filter fabric | (1) Filtre en géotextile |
| (2) Tendons | (2) Tirants |
| (3) Precast panel walls with "Websol" frictional anchorage system | (3) Parements en panneaux de béton préfabriqués, système à ancrage par tirants à frottement « Websol » |
| (4) Sealed pavement | (4) Revêtement étanche |
| (5) Footpath | (5) Trottoir |
| (6) Guard rail | (6) Garde-corps |

4. SPÉCIFICATIONS DE CONSTRUCTION

4.1. HISTORIQUE

Dans d'autres chapitres, le Bulletin examine l'utilisation de l'analyse de risque et l'étude technique de valeur (Value Engineering) en vue d'obtenir le projet le plus satisfaisant, et donne également des recommandations pour le choix du meilleur type de marché. Une autre partie intégrante de l'ensemble des opérations, faisant la liaison entre les hypothèses de projet et ce qui est réellement construit, est constituée par les spécifications de construction. Ces spécifications doivent compléter le projet afin de garantir que des niveaux de sécurité satisfaisants sont obtenus, en veillant toutefois à ce que des économies possibles ne soient pas perdues à cause d'un excès de spécifications arbitraires.

Les diverses parties engagées dans un marché de travaux tendront à avoir différents centres d'attention où les spécifications sont concernées. Le projeteur ne voudra pas risquer sa réputation à long terme en produisant un ouvrage inesthétique ou défectueux à d'autres égards, par suite de spécifications inadéquates. Il peut aussi alléguer, avec quelque raison et, spécialement, lorsqu'il n'est pas chargé du contrôle général des travaux, qu'au cours de la construction les spécifications tendent à être relâchées plutôt que resserrées. Pour ces deux raisons, il peut souhaiter adopter des critères assez rigoureux. Des spécifications excessives doivent être évitées, mais des spécifications détaillées et complètes peuvent être justifiées pour couvrir des incertitudes au stade du projet, en acceptant de les ajuster au fur et à mesure que les travaux progressent et que plus d'informations sur les conditions réelles sont obtenues.

L'entrepreneur veillera aussi à sa réputation mais concentrera également son attention sur le coût d'exécution des travaux. Dans un environnement où la concurrence est forte, il peut avoir présenté une offre sous-évaluée, ou évaluée avec de très faibles marges bénéficiaires, afin d'obtenir le marché. Certains entrepreneurs compteront sur des réclamations ou un relâchement des spécifications pour rétablir leurs bénéfices ; mais le bon entrepreneur recherchera les moyens d'exécuter rapidement les travaux, au moindre coût, sans nuire à la qualité du produit final.

Les exigences du client varieront : certains fixeront leur attention sur le coût le plus bas et une durée de vie économique relativement courte (par exemple, 20 à 25 ans, ou moins), d'autres rechercheront un produit de prestige, et d'autres s'attacheront à la sécurité à long terme et à un faible entretien.

La plupart des clients indiqueront que leurs exigences portent sur ces trois aspects et la plupart des projeteurs et entrepreneurs assureront également que c'est ce qu'ils s'attachent à fournir. Le centre d'intérêt peut également changer entre les diverses branches de l'organisme auquel appartient le client, au fur et à mesure que les travaux se terminent et aboutissent à la période d'exploitation.

4. CONSTRUCTION SPECIFICATIONS

4.1. BACKGROUND

Elsewhere this Bulletin discusses the use of Risk Analysis and Value Engineering to obtain the most appropriate design and also guidance in selecting the most appropriate form of Contract. Another integral part of the whole process, the link between design assumptions and what is actually built, is the Construction Specification. The specification must complement the design to ensure that appropriate safety levels are achieved, however it should also ensure that potential savings are not lost by arbitrary over specification.

The various parties in any construction contract will tend to have different foci of attention where the specification is concerned. The designer will not want to risk his long term reputation by producing an unsightly or otherwise unsatisfactory structure by under-specifying. He may also argue, with some justification and especially where he is not supervising construction, that during construction, specifications tend to be relaxed rather than tightened. For both reasons he may wish to produce fairly stringent criteria. Overspecification should be avoided but comprehensive specification to cover uncertainties may be warranted at the design phase, with the acceptance of adjustment as work proceeds and more information about precise circumstances is obtained.

The contractor will also have his reputation to consider but will also be undeniably focusing on the cost of doing the work. In a competitive environment he may well have under-bid, or bid at very low margins to win the job, and some contractors will be looking for claims or specification relaxations during construction to boost their profit, but the good contractor will be looking for ways to complete the job quicker, and at lower costs also, while not adversely affecting the final product.

The Client's requirements will vary with some focusing on lowest cost and a relatively short (say 20 to 25 years or less) economic life, some looking for a prestige product and others concentrating on long term safety and low maintenance.

Most would argue they want all three and most designers and contractors would equally argue that that is what they are providing. The focus may change between different arms of the clients organisation as the work moves through construction towards completion and operation.

Bien entendu, le niveau de spécifications doit être bien adapté à chaque cas particulier et peut varier d'une opération à l'autre, d'un domaine à l'autre. On devra donc s'attacher à bien définir les exigences réelles afin que le type et le niveau appropriés de spécifications soient adoptés. Les sous-chapitres ci-dessous donnent des exemples de questions et de domaines pouvant être pris en considération dans une telle étude et pouvant contribuer à réduire des dépenses inutiles.

4.2. GÉNÉRALITÉS

- Éviter de rester dans des spécifications arbitraires d'une opération à l'autre, sans examiner si elles sont toujours applicables.
- Porter son attention sur les caractéristiques des matériaux disponibles localement.
- Étudier les spécifications en se concentrant fortement sur les parties les plus coûteuses des travaux.
- Éviter un langage imprécis tel que « meilleure pratique » ou « à la satisfaction du maître d'oeuvre sur le chantier ». Des postes ainsi décrits sont difficiles à évaluer et peuvent donc entraîner une prime de risque. En pratique, la deuxième phase peut permettre un relâchement des normes sur le site, mais cela bénéficiera probablement à l'entrepreneur et ne diminuera pas le coût des travaux.
- S'assurer que non seulement le langage utilisé dans les documents est clair, mais également que l'information est fournie avec logique et sans ambiguïté. L'impression que toutes les questions ont été prises en considération et présentées de façon claire relèvera les niveaux de confiance de toutes les parties concernées, y compris les soumissionnaires, et réduira les coûts résultant d'une évaluation de risque. Le contraire sera aussi généralement le cas.
- Ne pas ignorer que les clauses demandant à l'entrepreneur de se porter garant des projets ou des matériaux de carrière prescrits à l'avance peuvent réduire les risques du client dans ces domaines, mais conduiront l'entrepreneur à augmenter les prix pour se couvrir vis-à-vis de ces risques.
- Éviter des spécifications excessivement détaillées et restrictives. Il y a lieu de noter que des spécifications conduisant à des coûts excessifs peuvent faire l'objet, le cas échéant, d'un compromis entre toutes les parties concernées en vue de respecter les dates d'achèvement, et peuvent donc avoir un effet contraire.
- Si possible, utiliser des spécifications de performance plutôt que des spécifications de méthode, ce qui donne à l'entrepreneur une plus grande souplesse dans ses méthodes de travail et dans ses travaux provisoires, d'où une plus grande possibilité d'économies de coût.
- Il peut être avantageux d'introduire une clause de « Value Engineering » dans les spécifications. Cela permet à l'entrepreneur de proposer des modifications au projet et/ou aux spécifications, au fur et à mesure de l'avancement des tra-

Clearly the level of specification used in any particular case must be the appropriate one and may easily vary from job to job and area to area depending on requirements. The real focus therefore must be to establish what the real requirements are in order that the appropriate type and level of specification is used. The sub-sections below give some examples of issues and areas which may be considered in such an assessment and which, at the same time, may help to reduce unnecessary cost.

4.2. GENERAL

- Avoid leaving in arbitrary specification clauses from one job to the next without reviewing whether they still apply.
- Focus requirements on the characteristics of the locally available materials.
- Review specification requirements focusing strongly on those items which form the major cost component of the job.
- Avoid imprecise language such as “best practice” or “to the satisfaction of the Engineer on site”. Items described thus are difficult to price and may therefore carry a risk cost premium. In practice the second phase may allow standards on site to be relaxed but this would probably benefit the contractor, not lower the cost of the job.
- Ensure that not only is documentary language clear but that information is laid out logically and unambiguously. The impression that all issues have been considered and presented clearly will boost the confidence levels of all concerned, including tenderers and reduce costs from risk-pricing. The opposite will also generally be the case.
- Be aware that clauses requiring the contractor to warrant designs or pre-ordained quarry materials may reduce the Client’s risk in those areas but will attract a higher price from the Contractor to cover those risks.
- Avoid overly detailed and restrictive specification. Note that where specifications are overly onerous they may well be eventually compromised by all parties in order to achieve completion dates, hence they can be counter productive.
- Where possible employ performance specifications rather than method specifications as this allows the contractor greater flexibility in his work methods and his temporary works and hence greater opportunity for cost savings.
- It may be advantageous to place a Value Engineering clause in the specification. This allows the contractor to propose changes to the design and/or the specification as work proceeds, with the approval of the Client and Engineer.

vaux, avec l'approbation du client et du maître d'oeuvre. Les économies de coût correspondant aux modifications proposées sont évaluées et les profits partagés entre l'entrepreneur et le client. De telles clauses deviennent de plus en plus courantes.

- Un domaine où des spécifications de performance plutôt que des spécifications de méthode peuvent être appropriées ou non est celui des ouvrages de dérivation. Il y aura toujours un risque associé au niveau de conception d'un ouvrage de dérivation d'une rivière. Très souvent, le client/maître d'œuvre disposeront de plus de temps que l'entrepreneur pour étudier ce risque. Il peut être plus économique que le maître d'œuvre précise la conception des ouvrages requis et que le maître d'ouvrage s'assure contre le risque, plutôt que l'entrepreneur. Cela n'est pas une conclusion évidente et variera d'un aménagement à l'autre. Intervient également l'attribution convenable de risques individuels aux parties les plus aptes à maîtriser et à comprendre ces risques (voir chapitre 6).
- Éviter d'étendre des spécifications rigoureuses, concernant des domaines critiques des travaux, à d'autres domaines qui ne sont pas aussi critiques. Cela s'applique, par exemple, aux prescriptions de traitement des fondations ; ces prescriptions peuvent être, à juste titre, moins onéreuses sur les versants ou les zones à faibles contraintes que sous la section la plus haute du barrage.
- Éviter les méthodes d'essais excessivement complexes, coûteuses ou longues, lorsque, en fait, la précision exigée peut être obtenue à partir de méthodes plus rapides et moins onéreuses.
- Le niveau de fuites à travers un barrage à ne pas dépasser peut faire l'objet, ou non, d'une spécification. Cela dépendra du type et des termes du contrat, et se rattachera aussi fortement aux conditions de base du projet. C'est ainsi qu'il y a des exemples, tels que des barrages de rétention des crues, des barrages alimentant des usines hydroélectriques sous-équipées, et des barrages assujettis à des débits réservés élevés à l'aval, où des fuites importantes peuvent être admises à condition qu'elles soient convenablement maîtrisées et canalisées. Dans de tels cas, un relâchement de certaines spécifications est possible.
- Les spécifications incluent, de plus en plus, des exigences de sécurité pour le personnel au cours des travaux de construction. L'expérience acquise dans de nombreux pays a montré que les mesures prises à ce sujet réduisaient le nombre et la gravité des accidents, et également les coûts de construction. De nombreuses recommandations utiles sont présentées dans le Bulletin 80 « Chantiers de barrages - Prévention des accidents ».

4.3. BARRAGES EN REMBLAI

Le point mentionné dans le sous-chapitre 4.2. et concernant l'utilisation de méthodes d'essais appropriées sont applicables aux barrages en remblai, où des essais continus faisant appel à des méthodes rapides sont nécessaires pour assurer un contrôle efficace au cours des travaux. D'autres aspects spécifiques aux barrages en remblai sont les suivants :

Cost savings are quoted along with the proposed change and the benefit shared between the Contractor and the Client. Such clauses are becoming increasingly common.

- One area where performance rather than method specifications may or may not be appropriate is the case of diversion requirements. There will always be a risk associated with the design level of river diversions. In many cases the Client/Engineer will have had longer to review that risk than the Contractor. It may be most cost effective for the Engineer to specify the design of the works required and for the Owner to ensure against the risk, rather than the Contractor. This is not a clear cut issue and again will vary from job to job. It also links with the appropriate allocation of individual risks to those parties best able to control or understand them, see Chapter 6.
- Avoid carrying tight specifications for critical areas of work over to other areas which are not as critical. This could apply for example to foundation preparation requirements. They may be justifiably less onerous on flanks or low stressed areas than under the highest section of the dam.
- Avoid overly complex, expensive or time consuming testing methods when in fact the required accuracy could be obtained by quicker and cheaper methods.
- The required level of leakage through a dam may or may not be a specification matter. This will depend on the nature and wording of the Contract. It also interfaces heavily with basic design issues. It is the case however that there may well be instances such as flood storage dams, under-planted hydro dams and dams which have high downstream compensation water requirements, when significant leakage can be tolerated, provided it is properly controlled and channelled. Relaxations of certain requirements including specification requirements may be possible under such circumstances.
- Specifications increasingly include safety requirements for workers during construction. Experience in many countries has shown that due care paid to this point not only reduces accident levels but also improves construction costs. Much relevant and useful practical advice is included in ICOLD Bulletin 80 "Dam Construction Sites - Accident Prevention".

4.3. FILL DAMS

The point in Section 4.2 regarding the use of appropriate test methods could well apply to fill dams, where continuous testing using rapid methods is required to ensure adequate control as work proceeds. Other aspects specific to fill dams include:

- Adaptation du projet à l'extraction la plus économique de matériaux. Cela peut influencer sur le coût unitaire, par exemple, de l'enrochement. Dans certains cas, il peut être préférable d'abaisser le niveau des prescriptions et d'utiliser une plus grande quantité de matériaux provenant d'une carrière moins coûteuse.
- La réduction des prescriptions pour les grandes dimensions d'enrochement est susceptible de réduire les coûts de transport en permettant l'utilisation de transporteurs à bande.
- Il importe de porter une grande attention aux problèmes climatiques, ou de faire appel à d'autres méthodes de mise en place, par exemple, au cours des saisons pluvieuses.
- Il peut être plus approprié d'adapter la conception des filtres aux conditions locales que d'adopter des courbes granulométriques normalisées.
- Une simplification du zonage interne au-dessus du niveau de retenue normale et à proximité de la crête peut simplifier la construction.
- L'ajustement de l'épaisseur et de l'étendue des filtres en cours de construction, pour tenir compte de la plus grande quantité de matériaux de faible coût et de la plus petite quantité de matériaux de coût élevé, peut entraîner d'importantes économies.
- Une plage de travail convenable pour les engins de mise en place et de compactage est également primordiale si des économies résultant de quantités réduites sont à réaliser en pratique.

4.4. BARRAGES EN BÉTON

- Des économies dans le coût du bétonnage peuvent être obtenues en autorisant la mise en place du béton à la pompe dans des zones moins critiques du barrage.
- Adopter des galeries de forme simple, par exemple rectangulaire. Des hauteurs et des emplacements peuvent être choisis pour harmoniser les niveaux des levées de béton. Permettre à l'entrepreneur de mettre au point les détails. L'expérience a montré que les préférences variaient d'un entrepreneur à l'autre.
- Il est souhaitable de ne pas donner des prescriptions excessives pour le refroidissement du béton. L'utilisation de paillettes de glace est très efficace pour un refroidissement jusqu'à 18° C environ. Le refroidissement au-dessous de 15° C dans les climats chauds peut nécessiter une installation de refroidissement des granulats, dispositifs beaucoup plus coûteux. La nécessité de températures plus basses doit être justifiée vis-à-vis de l'augmentation de coût. Le refroidissement du béton après sa mise en place n'est probablement nécessaire que si la construction comporte une injection de joints.
- La possibilité d'utiliser des éléments préfabriqués pour des poutres, des cintres, des galeries, etc., est examinée au paragraphe 3.5 du chapitre 3. De

- The adaptation of the design to reflect the most cost-effective quarrying. This can strongly influence the unit cost of, for example, rockfill. It may be preferable in some instances to lower specification requirements and use a greater quantity of material from a more cost effective quarry.
- Reducing requirements for larger rock sizes may lower transportation costs by permitting the use of conveyor belts.
- Climatic considerations should be considered with precautions or alternative placing methods, for example, during rainy seasons.
- It may be appropriate to locally adapt filter designs rather than adopt standardised grading curves.
- Simplifying internal zoning requirements above normal water level and around the crest can simplify construction.
- Adjusting the width and extent of filters as construction proceeds, to accommodate the highest quantity of low cost and the lowest quantity of high cost materials can make significant savings.
- Allowing adequate working room for placing and compaction plant is also vital if savings from reduced quantities are to be realised in practice.

4.4. CONCRETE DAMS

- Allowing pumped concrete in less critical sections of the dam can be effective in reducing placing costs.
- Keep gallery shapes simple, for example rectangular. Heights and locations can be chosen to match concrete lift levels. Allow the Contractor to finalise the detail. Experience has shown that preferences vary from Contractor to Contractor.
- Do not over specify cooling requirements for concrete. Flaked ice is very effective in pre and post cooling down to about 18°C. To cool below 15°C in hot climates can require the use of far more costly aggregate chillers. The need for lower temperatures must be justified against the increased cost. Post cooling of concrete is only likely to be required where joint grouting is involved.
- Permitting the use of pre-cast-units for beams, soffits, galleries etc. is discussed in Chapter 3, Section 3.5. Such units are frequently proposed by

tels éléments sont souvent proposés par les entrepreneurs à la place de détails localisés, en vue d'accélérer et de simplifier la construction dans des zones-clés. Dans certains cas, ils sont parfois considérés comme « ouvrages provisoires » laissés en place comme faisant partie de l'ouvrage définitif. De telles propositions en cours de travaux peuvent faire l'objet d'un « Value Engineering » comme indiqué au paragraphe 4.2.

- Il est parfois possible d'assouplir les prescriptions relatives au fini des surfaces après décoffrage pour les zones des ouvrages vues de loin. Il est souvent préférable de fixer son attention sur des points précis, afin de réduire les fuites et les taches inesthétiques, plutôt que sur un fini de surface arbitraire.
- Les lignes de levées sont souvent mieux traitées au moyen de rainures qui rompent la ligne, plutôt qu'en recherchant une surface unie. L'adaptation de telles rainures doit cependant conduire à un bon aspect d'ensemble.
- Il y a toujours un débat au sujet du niveau de préparation des joints ou surfaces des levées de béton. Si, par exemple, l'étude de stabilité a été basée, avec prudence, sur le frottement seul en ignorant la cohésion, il est alors possible d'assouplir les prescriptions relatives à la préparation du joint sur une grande partie de la levée. La préparation doit cependant être soignée dans les zones amont pour réduire les percolations. Ces points doivent être spécialement pris en considération pour les barrages en béton compacté au rouleau (BCR), où l'on distingue deux types. L'un est le béton « à pâte élevée » comme celui adopté au barrage Stillwater (États-Unis). Ici, la résistance à la traction du béton et une bonne liaison entre les levées de béton furent utilisées pour justifier un profil en travers plus élancé qu'un profil normal. L'autre est le béton « maigre sec » adopté au barrage Willow Creek aux États-Unis, et dans d'autres pays, où le BCR est considéré davantage comme une technique se rapprochant d'un remblai.
- La diminution de la teneur en ciment en utilisant des pouzzolanes, sans compromettre la maniabilité ni la durabilité, sera économique en termes directs et également du fait de la réduction d'effets annexes tels que la génération de chaleur.
- Le zonage du béton pour assurer une étanchéité amont, une résistance au gel-dégel à l'aval, une chaleur d'hydratation minimale dans le corps du barrage peut être économique, mais nécessite de porter une attention particulière au contrôle sur le chantier et aux liaisons entre le chantier, la centrale à béton et les systèmes d'acheminement du béton.

Contractors in place of in-situ details to accelerate and simplify construction in key areas. In some cases they can be regarded as 'temporary works' left in place as part of the final structure. Their proposition during construction could be subject to Value Engineering savings as proposed in Section 4.2.

- It may be possible to relax shutter specification finish requirements in areas of the works which can only normally be viewed at a distance. It is often better to focus on appropriate details to minimise unsightly staining and leakage rather than an arbitrary surface finish.
- Lift lines are often better treated with feature grooves to break-up the line rather than the need to produce a perfect linear surface. The need to form a good overall appearance from such grooves should however, be noted.
- There is always debate over the degree of preparation required on concrete lift joints or surfaces. If for example the design for stability has been based conservatively on friction alone and ignoring cohesion, then it may be permissible to relax joint preparation requirements over much of the lift. Preparation should however be good over upstream areas to minimise seepage. These points may be especially pertinent to roller compacted concrete (RCC) dams, where two forms have emerged. One is a high paste mix such as that used at Upper Stillwater dam in the USA. Here the tensile strength of the concrete and good bonding across concrete lifts was used to justify a slimmer than normal dam cross-section. The other is the "dry-lean" approach used at Willow Creek dam in the USA, and others, where the RCC is regarded more as a low-tech fill.
- Minimising cement contents by the use of pozzolans and without compromising workability and durability will be cost effective both in direct terms and by minimising the consequences of associated effects such as heat generation.
- The zoning of concrete to focus on watertightness upstream, frost resistance downstream and a minimum heat of hydration of the core may be cost effective but requires particular attention to site control and communications between site, batcher and delivery systems.

5. PERSPECTIVES DE PROGRÈS DANS LA CONCEPTION DES BARRAGES

Pour être complet, cette question est introduite ici, mais ne sera pas examinée en détail car elle est traitée dans le Bulletin 83 (1992) auquel on se référera pour plus d'informations.

Le chapitre 3 du présent Bulletin indique les progrès réalisés au cours des années écoulées et les facteurs économiques et autres qui les ont motivés. À partir de ceux-ci et du Bulletin 83, il est possible d'envisager la poursuite des progrès dans le futur sous diverses formes :

- optimisation accrue des projets en raison de meilleures connaissances dans les domaines de la conception et des calculs.
- poursuite des efforts de réduction des coûts en vue de préserver les ressources, si cela se répercute sur les matériaux, la fourniture d'énergie ou la main-d'œuvre.
- poursuite de l'adoption de techniques et matériaux de construction provenant d'autres secteurs, tels que parois minces et géotextiles.
- développement de l'utilisation à buts multiples des retenues en vue de justifier les coûts.
- plus grande attention à l'égard des aspects environnementaux associés au projet et à la construction, s'étendant de la qualité de l'eau et de l'habitat local jusqu'aux problèmes de sécurité du personnel au cours des travaux de construction.
- utilisation accrue des moyens de maîtrise de l'alluvionnement des retenues.
- augmentation du nombre de retenues surélevées, car cette solution est souvent plus économique que la réalisation de nouvelles retenues et réduit les problèmes d'impact sur l'environnement.
- utilisation accrue de BCR et aussi d'enrochement, y compris l'enrochement de qualité médiocre.
- Plus grande confiance dans les évacuateurs de crue implantés sur les talus ou dans le corps des barrages en remblai.

Le Tableau 1 extrait du Bulletin 83 indique quelques solutions qu'il est possible d'explorer.

5. FUTURE DESIGN DEVELOPMENTS OF DAMS

This subject is included for completeness but will not be addressed in detail as it formed the subject of ICOLD Bulletin 83 (1992) which should be referred to for further details.

Chapter 3 of this Bulletin indicates how design developments have occurred over the years and the economic and other factors which have motivated them. From these and from Bulletin 83 it may be possible to speculate on how developments may continue. They include:

- an increased optimisation of designs as our understanding of design issues and analysis increases.
- continued efforts to reduce costs to conserve resources whether they be reflected in materials, energy or manpower.
- continued importation of construction techniques and materials from other areas such as diaphragm walls and geotextiles.
- the increased multipurpose use of reservoirs in order to justify costs.
- increased attention to environmental aspects of design and construction extending from water quality and local habitats to safe construction practices for workers.
- the increased use of desilting arrangements at reservoirs.
- an increase in the number of reservoirs which are raised as this is often more cost effective than building new reservoirs and minimizes environmental impact issues.
- an increased use of RCC and also rockfill, included poor grade rockfill.
- an increased confidence in incorporating spillways on or in the main body of fill dams.

Table 1 is extracted from Bulletin 83 and indicates some of the options which it may be possible to explore.

Tableau 1 – Tableau récapitulatif de solutions possibles examinées dans le Bulletin CIGB 83.






















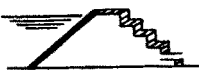


CATEGORIES	SOLUTIONS	CROQUIS TYPE	DESCRIPTION SOMMAIRE	DEVERSEMENT
Barrages gravitaires en remblai dur	A		Profils inusuels de barrages en remblai dur	X
Barrages gravitaires associant remblai dur avec remblais divers	B1		Remblai dur en aval	X
	B2		Noyau en remblai dur	Non
Voûtes multiples verticales en béton armé, chargées par du remblai	C			déversement possible
Utilisation d'étanchéité en acier pour	D1		Remblai dur	X
	D2		Terre	Non
	D3		Enrochement	adaptation possible F1,F2
Barrages zonés horizontalement	E1		Remblai dur et enrochement	adaptation possible F1
	E2		Enrochement et remblai sol fin	Non
Barrages en enrochement déversant	F1		Remblai dur en gradins	X
	F2		Mur en remblai dur	X
Barrages perméables en enrochement pour contrôle des crues	G			Non

Table 1. Summary of possible future alternatives discussed in ICOLD Bulletin 83.

CATEGORY	EXAMPLES	TYPICAL SKETCH	BRIEF DESCRIPTION	OVERSPILL
Hardfill dams	A		Hardfill with unusual cross section	X
Weighted hardfill dams	B1		Hardfill and upstream random fill	X
	B2		Fill dam with hardfill core	No
Weighted reinforced concrete dams	C			possibly adapted for spilling
Steel water-tightness used for	D1		Hardfill dams	X
	D2		Earthfill	No
	D3		Rockfill	possibly adapted F1, F2
Horizontally zoned dams	E1		Hardfill and Rockfill	possibly adapted F1
	E2		Rockfill and Earthfill	No
Overspill rockfill dams	F1		Rockfill with downstream hardfill stepped lining	X
	F2		Rockfill dam with overspill hardfill wall	X
Rockfill pervious dams	G			No

6. CLAUSES CONTRACTUELLES DES MARCHÉS

6.1. PARTAGE DES RISQUES

Un des problèmes fondamentaux influençant le coût d'un barrage est le partage des risques entre les parties intervenant dans le projet et la construction de l'ouvrage. Le maître d'ouvrage demande naturellement que l'entrepreneur supporte le maximum de risques. L'entrepreneur, bien entendu, sera amené à augmenter son prix de soumission pour se couvrir vis-à-vis des risques supplémentaires qu'il doit supporter. Souvent le problème pratique qu'aura à résoudre l'entrepreneur est le suivant : comment estimer et chiffrer le coût du supplément de risque qu'il doit prendre.

Il est difficile d'établir une règle générale pour optimiser le partage des risques. Cela dépend de nombreux facteurs, par exemple, du type et des incertitudes du projet, de la propre compétence du maître d'ouvrage, de la structure de l'organisation et de la solidité financière, etc.

Le meilleur principe pour le partage des risques est que l'entrepreneur supporte les risques qu'il peut contrôler. Cela porte sur ses propres ressources, installations, matériel, méthodes de construction, et sur toute conception dont il est responsable. Le maître d'ouvrage supportera les risques associés au projet lui-même, par exemple, aux facteurs suivants : condition du terrain (dont la connaissance est basée sur les travaux de reconnaissances réalisés par le maître d'ouvrage), niveau du rocher, importance des travaux d'injection, hydrologie de la rivière (y compris les données relatives aux crues, aux batardeaux, etc.), conception générale de l'ouvrage.

Il est très important que les documents du marché soient aussi clairs et exacts que possible sur les divers points mentionnés ci-dessus.

En fait, les conditions préalables à l'obtention de bonnes clauses contractuelles peuvent être résumées comme suit :

- Les clauses du marché doivent être claires et équitables.
- Les responsabilités des diverses parties et de leurs agents doivent être clairement définies dans le marché.
- Les clauses contractuelles doivent s'adapter aux réalités de la construction de barrage, à savoir que des incertitudes et des modifications sont inhérentes à ce type de construction, ce qui implique des risques.
- Toute innovation doit être encouragée à condition qu'un profit en résulte, du fait d'un coût plus faible, d'une meilleure qualité, ou d'une combinaison des deux.

6. COMMERCIAL CONDITIONS OF CONTRACT

6.1. RISK SHARING

One of the basic problems influencing the cost of dams, is the risk sharing between the parties involved in the design and construction of a dam. The owner, naturally, wants to place as much risk as possible on the contractor. The contractor will, of course, have to increase his tender price in order to incorporate the added risk he is supposed to carry. Often the contractor's practical problem will be how to estimate and price the value of the extra risk he has to take.

It is difficult to state a general rule for the best sharing of risk. This will depend on many factors, for instance the type and uncertainties of the project, the owners own competence, organisation and financial strength etc.

The best principle for risk sharing is that the contractor should carry the risks over which he has control. That means his own resources, plant, equipment, methods and any design for which he is responsible. The owner should carry the risks inherent in the project itself, for instance the quality of the ground conditions (based on the owner's investigations) the level of rock, the extent of grouting or injection, the hydrology of the river (incl. floods, cofferdam data etc.) and the general project design.

Regarding the above it is extremely important that the contract documents are as clear and correct as possible.

In fact the prerequisites for a healthy contractual arrangement can be summarised as follows:

- The contractual arrangement should be clear and equitable,
- The responsibilities of the parties and their agents must be clearly understood and represented in the contract,
- The contractual arrangements must accommodate the realities of dam building, e.g. that uncertainties and changes are inherent in the nature of such projects and that risk is involved,
- That innovation is to be encouraged provided that value is increased either through lower cost, higher quality or combinations of both.

6.2. TYPES DE MARCHÉ

Le choix du type de marché pour un barrage particulier est très important, non seulement pour le partage des risques, mais également pour la réussite de l'exécution de l'ensemble des travaux.

Il y a un grand nombre de types de marché disponibles et le choix du meilleur dépend de nombreux facteurs.

6.2.1. Marchés classiques

Le « marché classique » pour les travaux de barrage est le marché à prix unitaires basé sur une préqualification, un appel d'offres, un dépouillement et un jugement des offres, et une négociation finale avec le moins-disant. Ce type de soumission et de passation de marché a généralement la faveur des institutions financières internationales.

Le montant final d'un marché à prix unitaires est principalement basé sur des quantités mesurées et des prix unitaires préétablis. Les prix unitaires sont considérés valables à condition que les quantités restent à l'intérieur de certaines limites. Les clients ont souvent tendance à rendre ces limites aussi larges que possible, mais cela peut faire croire à un entrepreneur que le client a une faible confiance dans les quantités établies, et l'entrepreneur sera donc conduit, de ce fait, à se couvrir vis-à-vis d'imprévus. Des variations admissibles sont généralement de plus ou moins 10 % à plus ou moins 20 %, et dépendront des travaux spécifiques concernés.

Une représentation schématique, souvent utilisée, des principaux types de marché disponibles est donnée sur la Fig. 9. Elle indique seulement les principaux types de marché et, par exemple, dans le type de contrat à prix unitaires, il peut y avoir d'assez grandes variations dans les clauses détaillées relatives au partage des risques, etc.

Des commentaires sur quelques autres types de marché disponibles sont présentés ci-après.

6.2.2. Marchés forfaitaires

Le marché forfaitaire a été utilisé pour les travaux de construction de barrage et peut avoir la préférence du client en raison du moindre risque perçu. En réalité, il n'est pas idéal pour de tels travaux, étant donné les nombreuses variables inhérentes à la construction d'un barrage, vis-à-vis desquelles tout entrepreneur sera amené à se couvrir par des imprévus de risque. Lorsque des risques imprévus deviennent évidents, ce type de contrat pourra conduire à des relations difficiles sur le chantier.

6.2.3. Marchés clés en main

Dans ce type de marché, l'entrepreneur s'engage à fournir un produit fini pour un prix fixe. L'entrepreneur est généralement responsable de l'ensemble du projet, ou le client fournira l'avant-projet (par exemple, celui ayant servi de base à l'ap-

6.2. TYPES OF CONTRACT

The type of contract chosen for a particular dam project is very important, not only for the risk sharing, but also for the successful implementation of the entire project.

There are a large number of contract types available, and the choice of the best contract type depends on a large number of factors.

6.2.1. Conventional Contracts

The so called “conventional contract” for dam projects is the unit price contract based on a prequalification process, a tendering competition, a tender evaluation and a final contract negotiation with the most favourable tenderer. This type of tender and contract process is usually favoured by the international financing institutions.

The final cost for unit price contracts is principally based on measured quantities and pre-stated unit rates. The unit rates are considered valid provided quantities remain within certain limits. Clients are often tempted to make these limits as wide as possible however this can imply to a Contractor that the Client has little confidence in the quantities stated and he will therefore be tempted to add contingencies to allow for this. Allowable variations are typically from plus or minus 10% to plus or minus 20% but will vary depending on the specific items involved.

An often used schematic illustration of the main types of contract available is shown on Fig 9. This illustrates only the main types of contract and for instance within the unit price contract type there can be rather large variations in the detailed conditions for risk sharing etc.

Comments on some of the other contract types available are given below:

6.2.2. Lump Sum Contracts

The lump sum contract has been used for dam construction and may be favoured by Clients due to their lower perceived risk. In fact it is not ideal for such works given the many variables inherent in dam construction which any contractor will need to cover by risk contingencies. Where unforeseen risks become evident there will also tend to be a more adversarial relationship develop on site with this form of contract.

6.2.3. Turnkey Contracts

In this form of contract the Contractor tenders to provide a finished product at a fixed price. He is usually responsible for the design or the Client will novate the design to the Contractor. These types of contract are more applicable to pro-

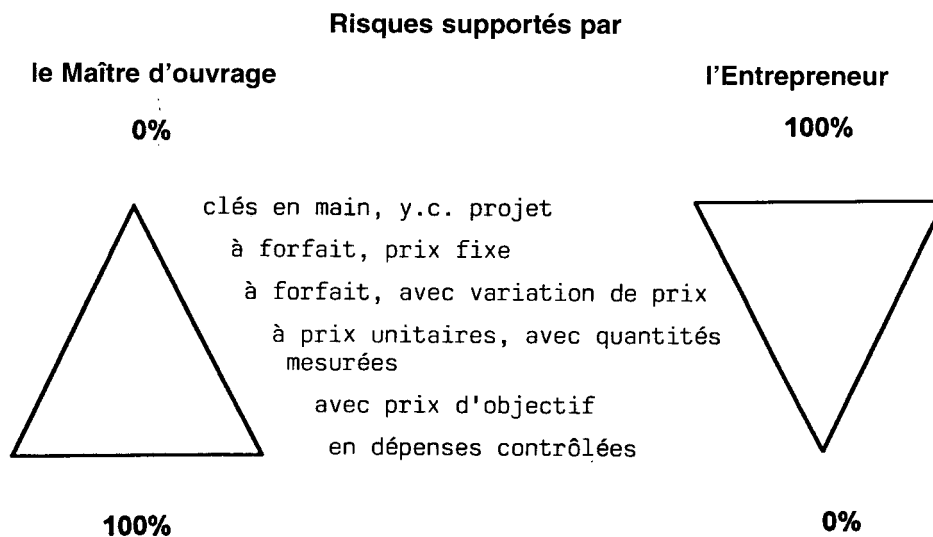


Fig. 9.

Représentation schématique de divers types de marché

pel d'offres) à l'entrepreneur qui aura la responsabilité de l'établissement de l'ensemble du projet. Ce type de marché s'applique surtout aux projets comportant un important équipement électromécanique ou multidisciplinaire, tels que les projets hydroélectriques. Dans ce type de contrat, l'entrepreneur peut baser un élément majeur du prix et son offre sur les meilleures caractéristiques du matériel qu'il est en mesure d'offrir. L'attention est attirée sur la livraison d'un ouvrage répondant à une spécification de performance.

6.2.4. Marchés BOT (Build-Operate-Transfer/ Construction-Exploitation-Transfert)

Le marché appelé BOT (Build-Operate-Transfer/Construction-Exploitation-Transfert) est une variante du marché clés en main. En plus des responsabilités normales d'un marché clés en main, l'entrepreneur assume aussi la responsabilité de l'exploitation de l'aménagement pendant une période déterminée avant son transfert final au maître d'ouvrage. Dans de nombreux cas, le marché BOT comprend aussi la gestion financière de l'aménagement jusqu'à la date de transfert. Ce type de marché est parfois appelé « super-marché clés en main » (« super turnkey contract »). Naturellement, le risque supporté par l'entrepreneur dans le cas d'un marché de ce type peut dépasser 100 %.

Dans de tels marchés, le coût des risques associés à la construction peut être compensé par les bénéfices futurs tirés de l'exploitation. Cela peut masquer un coût de construction plus élevé. Généralement, les gouvernements peuvent assurer le financement de façon plus économique que les organismes privés, tels que les

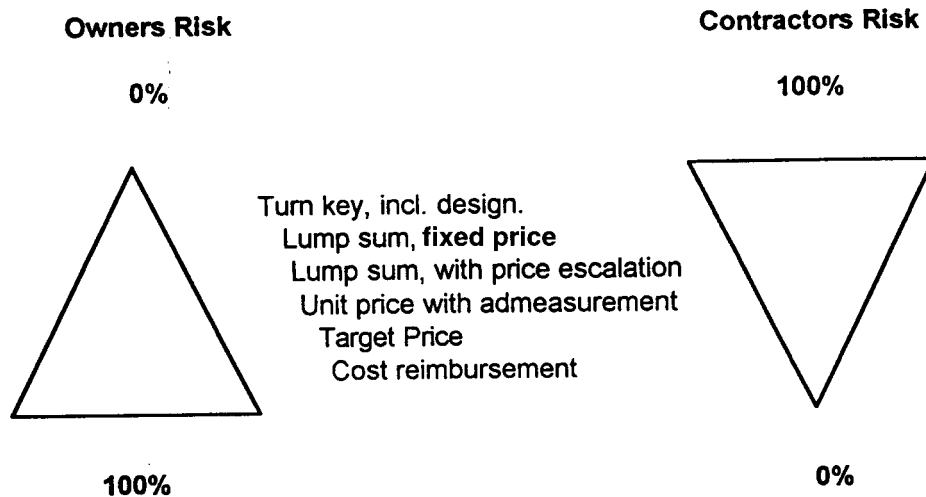


Fig. 9.

Schematic illustration of available contract types

jects with a significant electro-mechanical or multi-disciplinary content such as hydro-electric projects. In these the Contractor can base a major element of the price and tender design on the best features of the equipment he is in a position to offer. The emphasis is on delivery of a project to a performance specification.

6.2.4. BOT Contracts

The so called BOT contract (Build-Operate-Transfer) is a variant of the turnkey contract. In addition to the normal responsibilities of a turnkey contract the contractor also takes on the responsibility of the operation of the project for a specified period before the final transfer to the owner. In many cases the BOT contract also includes the financing of the project up until the transfer time. This type of contract is sometimes called "super turnkey contract". Naturally the risk for the contractor under this contract type can be said to be more than 100%.

In such contracts the construction risk cost can be offset by future operating benefits. This may disguise a higher than necessary construction cost. Usually sovereign governments can provide finance more economically than private concerns such as Contractors, provided that the government has the necessary funds

entrepreneurs, à condition que ces gouvernements disposent des fonds nécessaires. Les bénéfices doivent être évalués dans chaque situation afin de vérifier que le financement initial apparemment sous-estimé ne soit pas dépassé par des coûts de construction plus élevés et par un coût global d'exploitation en définitive plus élevé.

6.2.5. Marchés avec primes

Il existe une grande variété de marchés de ce type. En général, le but est que l'entrepreneur donne un prix d'objectif basé sur les plans, spécifications et bordereau des quantités, etc., disponibles. L'entrepreneur sera réglé suivant les coûts réels, mais avec des clauses stipulant que des pénalités lui seront appliquées si le coût final dépasse le prix d'objectif et que, par contre, des primes lui seront accordées s'il termine les travaux au-dessous de ce prix. L'objectif est d'inciter l'entrepreneur à réduire le prix.

6.2.6. Marchés avec prix d'objectif

Le marché avec prix d'objectif est principalement utilisé lorsque les incertitudes du projet sont relativement importantes, mais l'expérience montre que des litiges surviennent à propos de l'ajustement du prix d'objectif et de la détermination des surcoûts ou des économies. Ce type de marché est surtout applicable aux projets multidisciplinaires.

6.2.7. Marchés de gré à gré

Un marché de gré à gré est généralement signé après des négociations directes entre les parties, sans appel d'offres conventionnel. Ce type de marché convient surtout lorsqu'il y a un niveau élevé de confiance entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur, résultant souvent de collaboration et d'expérience antérieures.

Un marché de gré à gré ne doit pas être basé sur des négociations et des enchères ultérieures.

6.3. VARIANTES DE CONCEPTION PROPOSÉES

Les problèmes contractuels posés par des propositions de variantes de conception constituent un important aspect des marchés de travaux de barrage.

Il y a deux types principaux de variantes de conception : l'un correspond aux variantes proposées par l'entrepreneur dans sa soumission, l'autre aux variantes proposées par celui-ci au cours de la période de construction. Dans le premier cas, il convient de considérer les variantes comme propriétés de l'entrepreneur qui les a proposées et de ne pas les transmettre aux autres soumissionnaires pour fixation du prix. Dans le deuxième cas, les variantes sont souvent couvertes par des clauses type « Value Engineering », les bénéfices sur les coûts étant partagés entre le client et l'entrepreneur dans une proportion prédéterminée.

Dans les deux cas, il importe que le dossier de consultation comporte des clauses et règles claires concernant le traitement des variantes de conception, le

available. The benefits must be weighed in each situation to ensure that apparent lower-cost initial financing is not being outweighed by higher construction costs and an eventually higher overall life-cost.

6.2.5. Incentive Payments

Incentive payment contracts cover a large variety of contracts. The aim usually is that the contractor gives a target price based on the drawings, specifications and bill of quantities etc. available. The contractor's cost will be reimbursed according to his actual costs, but with rules stipulating penalties for the contractor if the final costs exceed the target price, and premiums (bonuses) for the contractor if he manages to finish below the target price. The reason for this is to give the contractor an incentive to reduce the price.

6.2.6. Target Price Contracts

The target price contract is mainly used when the uncertainties involved in the project are rather large, but experience shows that disputes often arise based on what should be adjustments of the target price and what is to be considered overruns or savings. They are most applicable in multi-disciplinary projects.

6.2.7. Negotiated Contracts

A negotiated contract is usually a contract signed after direct negotiations between the parties without a conventional tendering process. This type of contract works best when there is a high level of confidence and trust between the owner and the contractor, often based on previous co-operation and experience.

A negotiated contract should not be based on a post tender bargaining and auctioning.

6.3. ALTERNATIVE DESIGNS

The contractual problems on how to handle alternative designs are an important aspect in dam contracts.

There are two main types of alternative design: One is alternatives put forward by the contractor in his tender, the other is alternatives proposed by the contractor during the construction period. In the case of the former, it is professionally proper for such ideas to be treated as proprietary to the contractor who made the proposal, and not be passed onto other tenderers for pricing. In the case of the latter, these are often covered by "Value Engineering" type clauses with cost benefits shared in some pre-stated proportion between Client and Contractor.

In both cases it is important that the tender documents include clear rules and clauses on how to handle alternative designs, how to share the cost benefits and the

partage des bénéfices et la modification du partage des risques entre chaque partie.

Si une variante est proposée au cours de la phase de soumission, elle devra être accompagnée d'une offre se conformant aux spécifications de base.

6.4. PROCÉDURES DE RÈGLEMENT DES LITIGES

Des litiges entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur ont été, pendant de nombreuses années, un sérieux problème dans la construction de barrages. Très souvent, le maître d'ouvrage a des difficultés à connaître par avance toutes les conditions de sol et de roche, et cela entraîne souvent des réclamations et des litiges.

L'expérience générale montre que l'établissement de documents de marché précis et complets, avec des clauses claires pour un partage équitable des risques, contribue efficacement à réduire le nombre de réclamations et de litiges.

Pour les marchés de barrages importants et complexes, il est impossible d'éviter des litiges au cours de l'exécution du marché. Aussi tous les marchés doivent-ils avoir des clauses claires sur les procédures de règlement des litiges sur le chantier et ultérieurement par voies légales. Le plus souvent, une procédure d'arbitrage est utilisée, celle-ci étant considérée comme plus pratique et plus appropriée qu'un règlement devant une cour de justice.

Cependant, l'arbitrage s'est révélé une méthode compliquée, longue et coûteuse de règlement des litiges dans la construction de barrages. Par conséquent, au cours des dernières années, d'autres méthodes de règlement des litiges ont été mises au point. Le procédé le plus souvent utilisé est appelé « autre possibilité de résoudre les litiges » (« alternative dispute resolution » - ADR) ou « règlement par une Commission de conciliation » (« dispute review board » - DRB).

Dans les deux cas, le maître d'ouvrage et l'entrepreneur acceptent la nomination d'un groupe indépendant d'experts très peu de temps après l'adjudication du marché et avant que tout litige ne survienne.

Pour les grands aménagements, un groupe de trois membres est considéré comme satisfaisant ; le maître d'ouvrage choisit un membre, l'entrepreneur un autre, et les deux représentants se mettent d'accord sur le choix d'une troisième personne comme président. Chaque membre est supposé neutre et ne pas être l'avocat de la partie qui l'a nommé. Les membres de la Commission de conciliation sont tenus au courant de l'évolution des travaux de l'aménagement et visiteront le chantier à intervalles réguliers, même en l'absence de litige.

La Commission de conciliation peut intervenir dans un litige dès que les parties reconnaissent qu'un règlement négocié sur le site est improbable. La Commission peut examiner le litige rapidement et faire connaître sa décision après avoir entendu les parties. Les décisions de la Commission de conciliation sont généralement considérées comme des recommandations et les parties peuvent avoir recours à un arbitrage ou procès pour régler leur litige, suivant les clauses du marché.

change of risk to each party.

If an alternative design is invited for during the tendering stage, the alternative should be accompanied by a basic offer in accordance with the conforming specifications.

6.4. DISPUTE PROCEDURES

Disputes between the owner and the contractor have for many years been a serious problem in dam construction. Very often it is difficult for the owner to ascertain all ground and rock conditions beforehand and this often results in claims and disputes.

General experience shows that clear and complete contract documents with clear clauses for a fair sharing of risk between the parties, is the best help towards reducing the number and amounts of claims and disputes.

In large and complex dam contracts it is not possible to avoid all disputes during the execution of the contract. Therefore all contracts should have clear rules on how to handle disputes both at the site and in subsequent legal disputes. Most often an arbitration procedure is used, as this is regarded as a more practical and suitable procedure than handling in conventional law courts.

Even arbitration has however, proved to be a complicated, long-lasting and expensive way of handling contractual disputes in dam construction. Consequently in recent years alternative systems in the handling of disputes have been developed. The system mostly used is called alternative dispute resolution (ADR) or solution by dispute review board (DRB).

In this both the owner and the contractor agree to nominate an independent panel of experts very soon after the contract is awarded, and before any disputes have arisen.

For large projects a three member panel is considered appropriate; the owner selects one member, the contractor selects another, and the two representatives agree on a third person to be the chairman. All members are supposed to be neutral and are not supposed to be advocates for the party that nominated them. The DRB members are kept up to date with the development of the work on the project, and they should visit the site at regular intervals, even if a dispute is not being noticed.

Disputes can be taken to the board as soon as the parties recognize, that a negotiated settlement at the site is unlikely. The DRB can handle the dispute quickly and render their decision quickly after hearings with the parties. The decisions of the DRB are normally only regarded as recommendations, and the parties can still take the dispute to arbitration/litigation according to the clauses in the contract.

Les frais de fonctionnement de la Commission de conciliation sont, en général, pris en charge moitié-moitié par le maître d'ouvrage et l'entrepreneur ; les membres de la Commission reçoivent des honoraires mensuels pour leurs travaux courants, plus des indemnités spéciales pour les visites ou travaux supplémentaires correspondant à des litiges particuliers.

L'expérience a montré qu'une Commission de conciliation était une solution intéressante et pleine de promesses pour le règlement des litiges. Les recommandations de la Commission de conciliation ont été généralement acceptées par les parties et le coût de cette Commission est faible comparativement à celui d'un simple arbitrage. Le recours à une Commission de conciliation est, par exemple, recommandé par la Banque Mondiale.

Lorsque des Commissions de conciliation sont utilisées, les clauses des marchés doivent être vérifiées avec soin afin de s'assurer que leurs attributions n'interfèrent pas avec les fonctions normales assignées au maître d'œuvre. Les conditions FIDIC (Fédération Internationale des Ingénieurs Conseils) peuvent, par exemple, nécessiter des clauses spéciales supplémentaires.

Les marchés devront indiquer si des Commissions de conciliation sont prévues. Cela précisera aux entrepreneurs que les litiges seront impartialement examinés, ce qui évitera de prendre en compte des coûts pour imprévus en vue du règlement de litiges.

La diminution des litiges est un facteur important de maîtrise des coûts dans la construction de barrages. La Commission de conciliation peut avoir un effet psychologique sur le comportement des participants sur le chantier de travaux en les conduisant à plus de bon sens et d'esprit de conciliation.

Un autre facteur intervenant dans les litiges est parfois l'accord sur les données de base pour l'évaluation initiale du prix par l'entrepreneur. Une méthode a été utilisée avec succès en Australie en vue de réduire de tels litiges ; elle consiste en la fourniture, par le soumissionnaire moins-disant, d'une copie de son estimation accompagnée de documents justificatifs, au moment de l'adjudication. Ces documents sont déposés dans un coffre scellé, dans une banque, et les experts ou les arbitres en prennent seulement connaissance en cas de litige concernant l'estimation de la soumission. L'effet psychologique des documents se trouvant en lieu sûr mais accessible peut modifier le comportement de toutes les parties impliquées.

Les réclamations sont certainement coûteuses et les moyens destinés à les éviter ou, au moins, à les réduire ont des effets bénéfiques évidents sur les prix.

The expenses of the DRB are usually shared 50/50 by the owner and the contractor, the board members are usually paid a monthly retainer for their routine work, plus a separate compensation for any additional visits or work in connection with the handling of separate disputes.

Experience with DRB's has shown that it is an interesting and promising alternative in the settlement of disputes. The recommendations of the DRB have usually been accepted by the parties, and the cost for the DRB is small compared even to a single arbitration case. The use of DRB's is for example recommended by the World Bank.

Where DRB's are used the conditions of contract should be carefully checked to ensure that their duties do not interfere with the normal functions assigned to the Engineer. FIDIC conditions may, for example, require additional special clauses.

If DRB's are intended this should be stated in the contract. This will clarify to Contractors that disputes will be dealt with fairly and avoid unnecessary contingency pricing for dealing with disputes.

The curtailment of disputes is an important cost control factor in dam construction. The DRB can have the psychological power to modify the behaviour of the on-site participants towards reason and conciliation.

A prolonging factor in contractual disputes can be agreeing the basis for the contractors original pricing. An idea to reduce this which has been used in Australia is for the successful tenderer to deliver a copy of his estimate, with supporting documentation, at the time of award. This is deposited in a sealed safety deposit box in a bank and is only opened by the experts or arbitrators in the event of a dispute concerning the tender estimate. Again the psychological effect of the document lying in a safe yet accessible place can have a modifying effect on all parties.

Certainly claims cost money and avoiding or at least curtailing them has clear cost benefits.

7. RÈGLEMENTS ET LÉGISLATION

7.1. GÉNÉRALITÉS

L'augmentation rapide, au cours de ces dernières années, des lois et règlements relatifs à la construction et à l'exploitation des barrages a des effets importants sur les coûts. Dans le cas de nouveaux barrages, les conditions nécessaires à l'obtention du permis de construire ont conduit à une augmentation du temps et du coût des études de faisabilité, entravant ainsi les profits escomptés. Pour les barrages existants, des prescriptions plus rigoureuses concernant les inspections de sécurité et les procédures d'entretien entraînent des coûts d'exploitation supplémentaires qu'il faut budgétiser.

La législation et son application aux barrages varient d'un pays à l'autre et évoluent constamment, ce qui rend difficile et rapidement périmé un examen approfondi des pratiques. Le but du présent chapitre est donc, non pas de porter son attention sur les détails des règlements ou les procédures administratives, mais plutôt d'examiner les tendances pouvant influencer les coûts de la construction et de l'exploitation des barrages, et de présenter quelques moyens susceptibles de réduire ces coûts ou, au moins, de les maîtriser à des niveaux raisonnables et acceptables.

7.2. RÈGLEMENTS RELATIFS À L'ENVIRONNEMENT ET PERMIS DE CONSTRUIRE

7.2.1. Introduction

Les barrages et les aménagements hydrauliques ont été traditionnellement soumis à des règlements et à une législation relatifs aux droits d'usage de l'eau et des sols nécessaires à la réalisation de l'aménagement, leur administration étant assurée par les Ministères et Agences responsables des ressources naturelles. Un exemple bien connu d'une telle législation fut la création, au début des années 1900, du Bureau of Reclamation, au Département de l'Intérieur des États-Unis, pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau dans les États de l'Ouest des États-Unis. Au cours de ces dernières années, la législation relative à l'environnement a élargi le domaine d'examen auquel les aménagements hydrauliques sont assujettis, ce qui appelle ou permet une plus grande participation du public au processus d'approbation.

Les études d'impact sur l'environnement sont maintenant au cœur des conditions requises pour l'obtention de permis, dans la plupart des pays. Le coût direct des inventaires du milieu, des études d'impact et des auditions, ainsi que le coût indirect des profits différés font que les processus d'évaluation représentent un coût et un élément de risque importants pour les nouveaux projets.

7. RULES AND LEGISLATION

7.1. GENERAL

The rapid increase in recent years of laws and regulations relating to the construction and operation of dams has significant cost implications. In the case of new dams, permitting requirements have tended to increase the time and cost of feasibility studies, thus delaying the flow of anticipated project benefits. For existing dams, more stringent requirements for dam safety inspections and maintenance procedures mean additional operating costs that must be budgeted.

Legislation and its application to dams varies from country to country and is constantly evolving, which makes a comprehensive survey of practice both difficult and rapidly dated. The purpose of this section, therefore, is not to look closely at legal details or administrative procedures but, rather, to examine trends that may influence the cost of dam construction and operation and to suggest some ways by which such costs may be reduced or, at least, controlled at reasonable and tolerable levels.

7.2. ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND CONSTRUCTION PERMITTING

7.2.1. Introduction

Dams and water resource projects have traditionally been subject to rules and legislation relating to the rights to use of water and the lands required for implementation, and administered by ministries and agencies responsible for natural resources. A well known example of such legislation was the creation in the early 1900's of the Bureau of Reclamation of the United States Department of the Interior for the development and management of water resources in the western states. In recent years, environmental legislation has broadened the scrutiny to which water resource projects are subjected, inviting or enabling more public participation in the approval process.

Environmental assessments are now at the heart of permitting requirements in most countries. Both the direct cost of environmental inventories, impact studies and hearings and the indirect cost of deferred benefits make the assessment processes an important cost and risk element for new projects.

La législation relative à l'environnement est habituellement sous la juridiction du gouvernement de l'État ou de la Province et, pour certains aménagements, les deux sont impliqués. Les rivières internationales font l'objet, en général, de traités précisant le partage de l'eau et des profits associés à l'aménagement entre les parties concernées. Il n'y a pas d'autorité supranationale pouvant imposer des normes environnementales à divers pays. Toutefois, la législation dans tous les pays est influencée par les objectifs et normes préconisés par le mouvement environnemental international. La méthodologie des études environnementales est également influencée par les échanges internationaux entre les personnes travaillant dans ce domaine, de la même façon que les échanges au sein de la CIGB influencent la technique de construction des barrages. Il en résulte que les règlements relatifs à l'environnement et s'appliquant aux barrages ont de nombreuses similitudes d'un pays à l'autre.

Les prescriptions relatives aux études d'impact sont plus rigoureuses pour les aménagements importants. Par exemple, au Québec (Canada), seuls les nouveaux projets hydroélectriques de puissance installée inférieure à 10 MW sont exempts d'évaluation détaillée. Également, des modifications apportées à des barrages existants peuvent, en général, être plus facilement approuvées que des nouveaux projets, à condition, bien entendu, que ces modifications n'entraînent pas de nouveaux impacts importants.

7.2.2. Procédure d'obtention de permis

Dans sa forme la plus simple, la procédure d'étude environnementale implique l'approbation, par l'organisme délivrant le permis, d'un rapport exposant les impacts sur l'environnement, ce rapport ayant été préparé et soumis par le promoteur du projet. En se basant sur leur expérience, les deux parties concernées savent quels critères seront utilisés dans l'étude et quelle procédure est efficace.

Les nouveaux projets de barrages sont souvent l'objet de controverse et, par conséquent, sont sujets à des procédures plus complexes qui impliquent de plus en plus la consultation du public. Deux exemples, l'un provenant du Québec (Canada) et l'autre d'Afrique du Sud, illustrent deux processus caractéristiques d'examen et d'approbation de projets de barrages. Ces exemples sont choisis du fait que tous deux sont fondés sur une législation de progrès, bien adaptée aux questions d'environnement, et aussi du fait qu'ils représentent deux situations très différentes de développement. Le Québec, bénéficiant déjà d'un parc important d'aménagements hydroélectriques en service, a encore d'abondantes ressources en eau non utilisées, mais a rencontré, au cours de ces dernières années, de fortes oppositions à la réalisation de nouveaux aménagements ; l'Afrique du Sud, avec des ressources en eau limitées, a un grand besoin en matière de travaux d'équipement pouvant contribuer au développement social et économique du pays.

La Fig. 10 montre le processus d'obtention de permis, exigé au Québec (Canada) pour un nouveau projet hydroélectrique de 10 MW ou plus. Elle indique également l'organisation des études de projet, visant à minimiser l'investissement et l'implication dans de longs examens avant qu'il n'y ait une claire indication sur l'intérêt économique du projet pour le promoteur/maître d'ouvrage. Dans la période d'examen détaillé, il faut noter que même les hypothèses relatives à la justification économique du projet sont minutieusement examinées dans l'étude et com-

Environmental legislation is commonly under the jurisdiction of state (provincial) and national governments and for some projects both may be involved. Boundary and international rivers are usually the object of treaties relating to sharing of water and project benefits by the countries involved. There is no supranational body with the power to impose environmental standards on individual countries. However, legislation in all countries is influenced by goals and standards advocated by the international environmental movement. Environmental study methodology is also influenced by international exchanges among workers in the field in the same way that the ICOLD forum influences dam construction technology. The result is that environmental regulations regarding dam projects have many similarities from one country to another.

Requirements for impact studies are most stringent for major projects. In Quebec, Canada, for example, only new hydro projects with less than 10 MW installed capacity are exempted from the detailed evaluation process. Also, modifications to existing dam projects can usually be approved more easily than new projects, providing always that the modifications do not involve significant new impacts.

7.2.2. The Permitting Process

In its simplest form the environmental review process involves approval by the permit issuing body of an environmental impact statement that has been prepared and submitted by the project promoter. On the basis of experience, both sides know what criteria will be used in the assessment and the process is efficient.

New dam projects are often controversial and, consequently, are subject to more complex procedures that increasingly involve public consultation. Two examples, the first from Quebec, Canada and the second from South Africa, illustrate typical examination and approval processes for dam projects. These examples are chosen because they both are founded in progressive, environmentally responsible legislation and, also, because they represent two very different development situations: Quebec, already benefiting from its extensive existing hydroelectric developments, still has an abundance of undeveloped water resources but, in recent years, has seen considerable opposition to new development; South Africa with limited water resources has a great need for projects that can help satisfy social and economic development goals.

Figure 10 shows the process required in Quebec, Canada for a new hydroelectric project of 10 MW or more. It also demonstrates the way in which project studies are structured to minimise investment and involvement in lengthy reviews before there is a clear indication that the project is of economic interest to the owner/developer. In the detailed assessment period, it is worth noting that even the hypotheses regarding the economic justification of the project are closely scrutinised in the review and compared with other development alternatives. In other

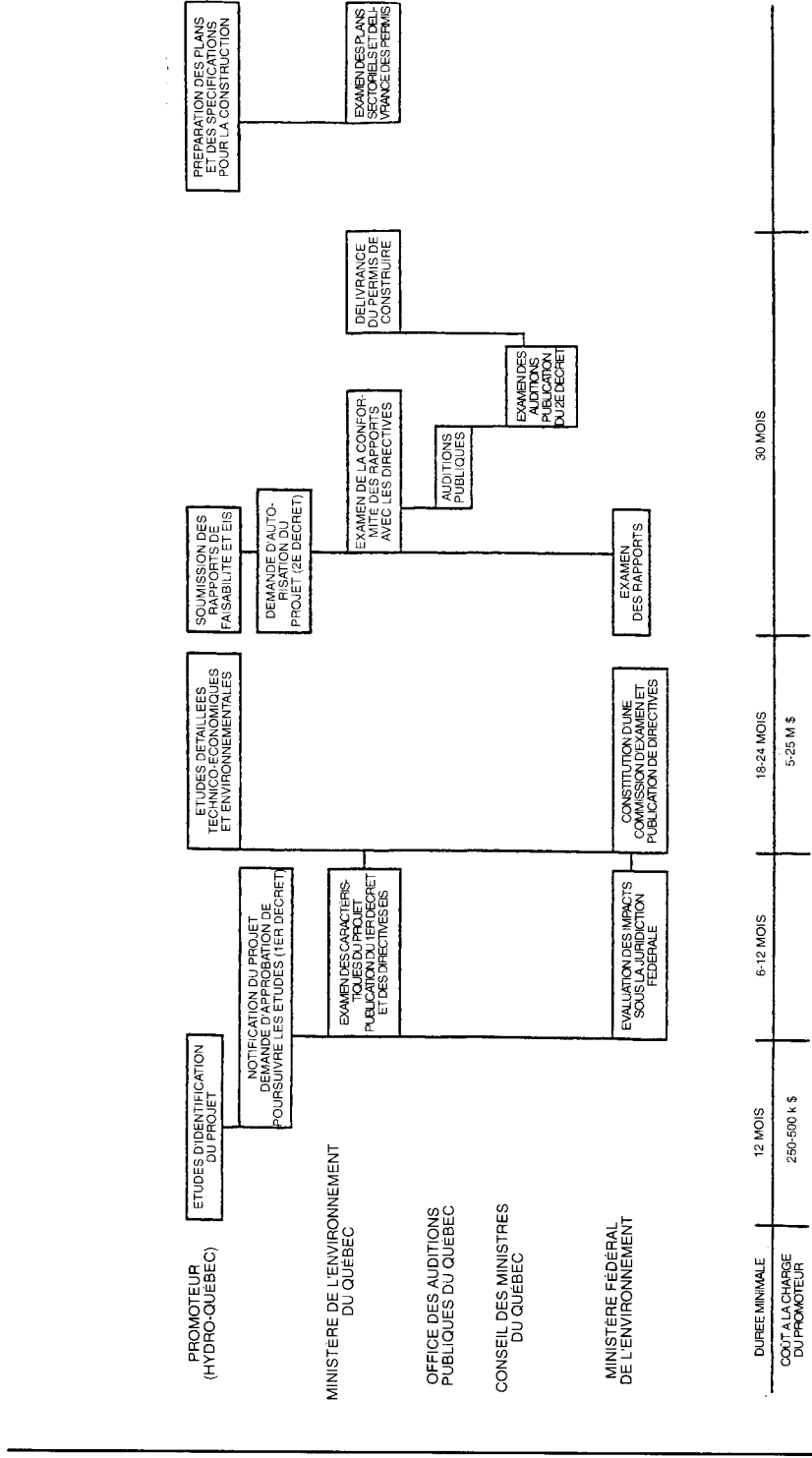


Fig. 10. Processus d'obtention de permis pour de nouveaux aménagements hydroélectriques - Québec, Canada

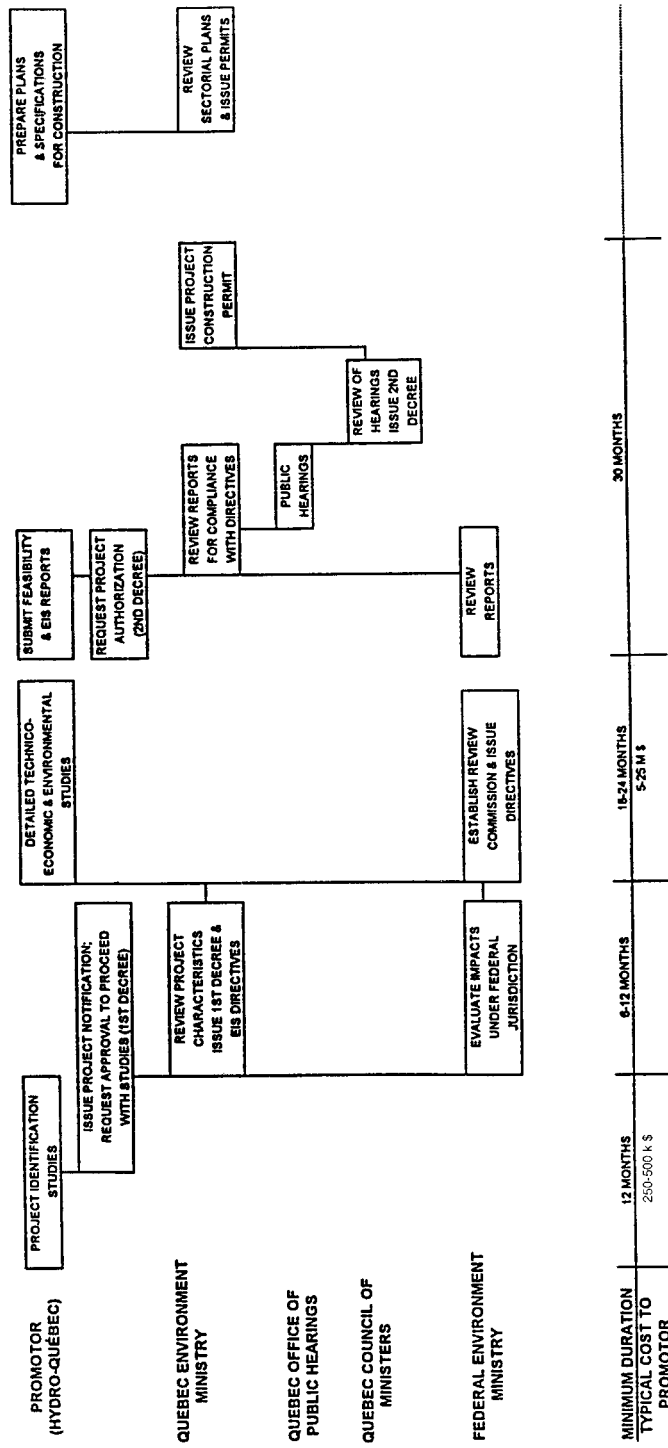


Fig. 10. Permitting process for new hydro projects - Québec, Canada

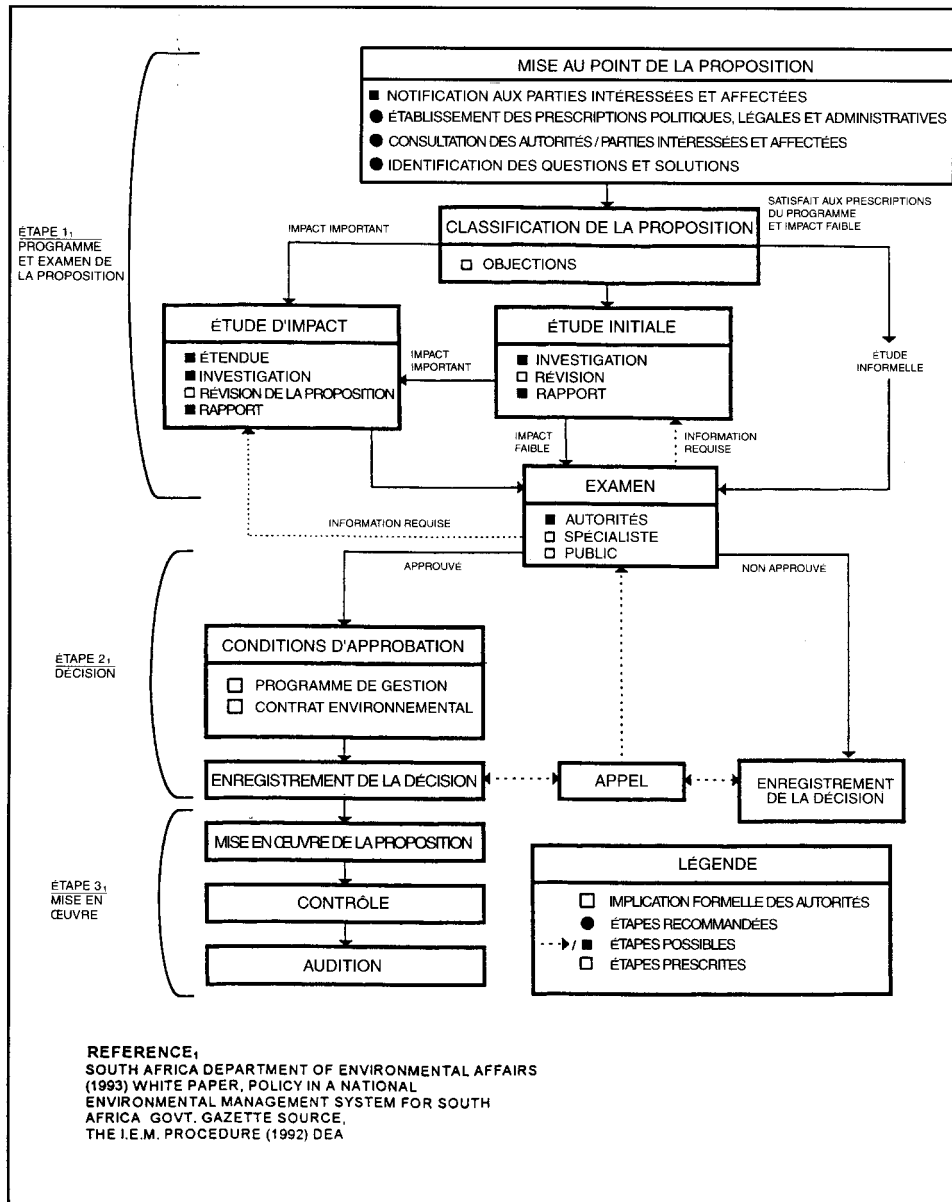


Fig. 11.

Procédure de gestion environnementale intégrée (Afrique du Sud, d'après Rooseboom et al, 1994)

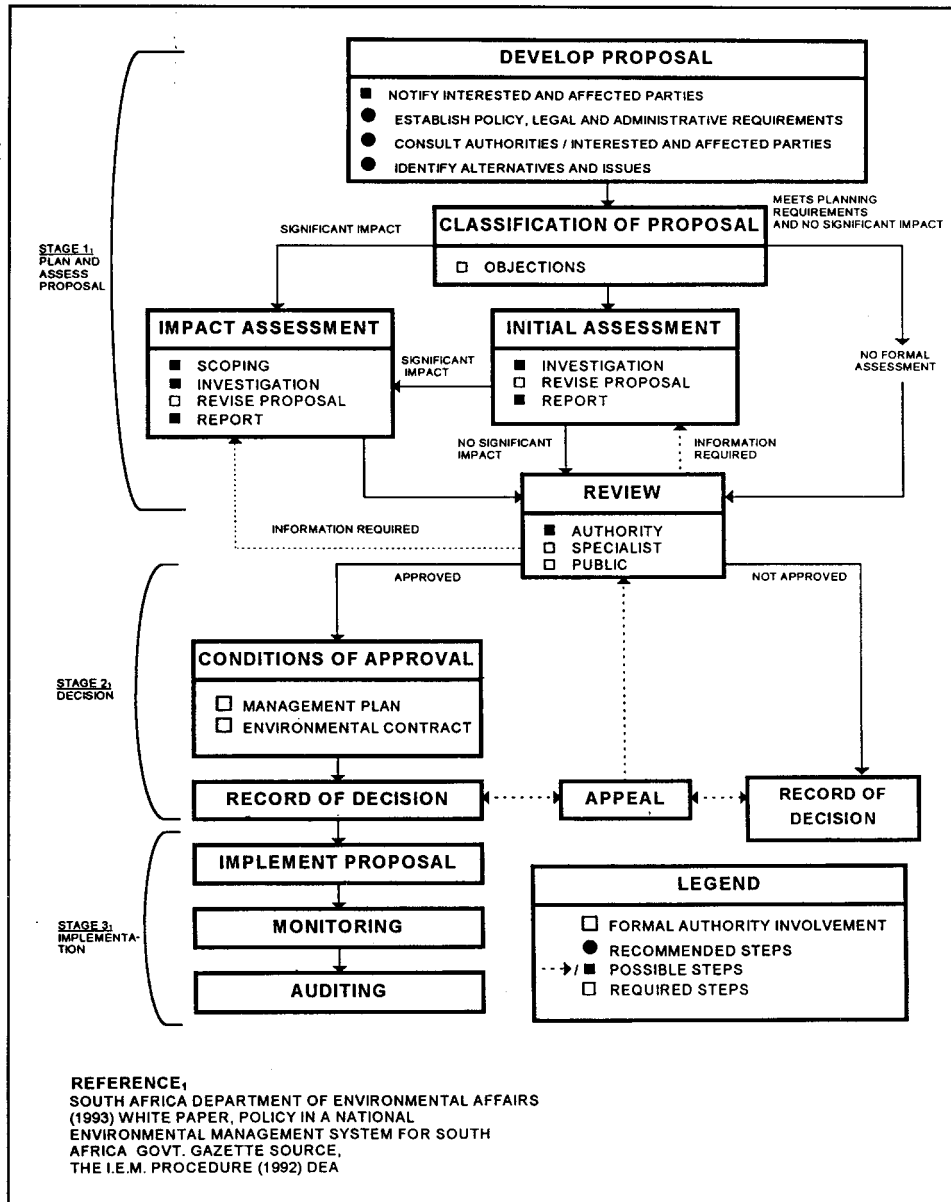


Fig. 11.

The integrated environmental management (IEM) procedure
 (South Africa, after Rooseboom et al, 1994)

parées à d'autres solutions d'aménagement. En d'autres termes, la justification sociale d'un projet est devenue une question importante pour ceux chargés de l'approbation du projet. Enfin, on peut constater que les diverses procédures d'examen, qui peuvent impliquer deux niveaux de gouvernement, peuvent durer trois ans ou plus et coûter plusieurs millions de dollars.

La Fig. 11 représente une procédure de gestion environnementale intégrée utilisée en Afrique du Sud pour évaluer les projets d'aménagements hydrauliques. Comme au Québec, le processus est fondé sur une législation de progrès dont les objectifs sont un développement durable et l'implication du public dans la prise de décision.

7.2.3. Discussion

Il est évident que l'attention de plus en plus grande portée par le public aux impacts des barrages sur l'environnement a accru parallèlement la complexité et le coût de la procédure d'obtention des permis. Il faut également reconnaître que le simple fait d'accepter des coûts et des délais supplémentaires d'étude ne garantit pas que le projet sera approuvé ; le même processus peut être utilisé par les opposants au projet pour contester la justification du projet ou l'étude d'impact ; l'autorité habilitée à délivrer le permis, en général un département ministériel d'un gouvernement ou une commission arbitrale nommée par le gouvernement, doit indiquer quels sont les arguments les plus convaincants. L'autorité précitée doit disposer aussi des ressources nécessaires pour effectuer l'examen de manière efficace et dans une période de temps raisonnable.

En définitive, il apparaît que le promoteur/maître d'ouvrage et le gouvernement ou l'autorité délivrant le permis doivent rechercher un partage de responsabilités pour la mise au point et la gestion des processus permettant de réduire les coûts à la fois pour le projet et pour le public, sans sacrifier les objectifs environnementaux et les questions publiques importantes. À cet effet, le promoteur doit s'attacher à identifier les questions environnementales et publiques importantes, dès que possible dans les processus d'étude, s'assurer que celles-ci sont clairement identifiées dans les directives, et affecter des moyens suffisants pour l'examen de ces problèmes dans les études détaillées de faisabilité. De son côté, le gouvernement ou l'autorité habilitée à délivrer le permis doit faire preuve de jugement et d'autorité lors de la préparation des directives concernant les études, en vue d'indiquer clairement les questions qu'il considère importantes et d'éliminer ou de traiter différemment celles qui n'influenceront pas les résultats de l'évaluation. Le gouvernement doit être également réaliste lors de l'établissement des procédures d'examen afin que celles-ci ne dépassent pas la capacité de ses propres moyens.

7.3. RÈGLEMENTS RELATIFS À LA SÉCURITÉ DES BARRAGES

7.3.1. Généralités

Au cours de ces vingt dernières années, le vieillissement et la sécurité des barrages sont devenus une préoccupation majeure des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage, et les coûts de la surveillance, de l'entretien préventif et de la réhabilitation des ouvrages ont augmenté sans cesse. Dans de nombreux cas, l'incitation à

words, the social justification of a project has become an important consideration for those charged with the project approval. Finally, it is seen that the various review procedures, that may involve two levels of government, can take three years or more to complete and can cost several million dollars.

Figure 11 shows the integrated environmental management procedure that is used in South Africa for evaluating water development projects. As in Quebec, process is founded on progressive legislation whose objectives are sustainable development and public involvement in decision making.

7.2.3. Discussion

It is obvious that with increasing public awareness of the impacts of dam projects there has been a parallel increase in the complexity and cost of the permitting process. Also, it must be acknowledged that simply accepting the additional study costs and delays does not ensure that the project will eventually be approved; the same process can be used by project opponents to question the project justification or the assessment of impacts and the permitting authority, usually a government department or a government appointed-referee, must decide which arguments are the most convincing. The permitting authority should also have the resources necessary to carry out the review in an efficient manner and within a reasonable length of time.

Finally, it would seem that the owner/promoter and the government or permitting authority must share responsibility for developing and administering processes that will minimise costs both for the project and for the public without sacrificing environmental goals or significant public issues. To this end, the promoter should seek to identify significant environmental and public issues as early as possible in the study process, should make sure that these are clearly identified in directives, and should allocate appropriate resources to these concerns in the detailed feasibility studies. For its part, the government or permit issuing authority should exercise both judgement and authority when preparing study directives with a view to clearly emphasising those issues it considers important and eliminating or otherwise qualifying issues that should not influence the eventual outcome of the evaluation. The government should also be realistic in establishing review procedures that do not exceed the capacity of its own resources.

7.3. REGULATIONS REGARDING DAM SAFETY

7.3.1. General

Over the past twenty years the ageing and continuing safety of dams has become a major preoccupation for engineers and owners and the cost of surveillance, preventative maintenance and rehabilitation of structures has been growing steadily. In many cases the incentive for increased surveillance and maintenance

accroître la surveillance et à engager des travaux d'entretien est venue non pas de prescriptions légales en vigueur mais des organismes auxquels appartiennent les maîtres d'ouvrage. Il est tout à fait logique que les maîtres d'ouvrage veuillent maintenir en bon état de service des ouvrages produisant des revenus ; les capitaux engagés ont été amortis depuis longtemps, mais, grâce à des travaux d'entretien appropriés, ces ouvrages peuvent continuer à fonctionner pendant de nombreuses années. Les questions qui préoccupent les ingénieurs de barrage et les exploitants sont alors : quels niveaux de surveillance et d'entretien préventif sont suffisants ? des recommandations doivent-elles être établies ?

Il y a également la question de la sécurité publique et des conséquences économiques de la rupture d'un barrage. La mise en valeur de la vallée à l'aval d'un barrage, après sa construction, est souvent considérable et les conséquences de la rupture du barrage sont amplifiées. S'ils ne sont pas encore en vigueur, des règlements peuvent être prévus, obligeant les maîtres d'ouvrage et les exploitants de barrages à maintenir les ouvrages en parfait état de sécurité, à établir un dispositif d'alerte et un plan de secours en cas de rupture et, peut-être, à prévoir des fonds et des dispositions techniques pour la mise hors service de barrages. Comment de tels règlements et coûts peuvent-ils être gérés ?

7.3.2. Influence des règlements relatifs à la sécurité des barrages sur les coûts

Peut-être à cause du grand nombre de juridictions concernées, l'information disponible à travers le monde sur les règlements relatifs à la sécurité des barrages est fragmentaire. La meilleure référence est l'exposé sur les règlements gouvernementaux, établi par Le Moigne (1993) à l'intention des membres de la CIGB. Les réponses à cette étude, qui étaient spontanées et n'étaient représentatives que d'une fraction des membres de la CIGB, ne se prêtent pas à une analyse rigoureuse ; mais la simple absence d'informations indique peut-être qu'il n'y a pas de pratique bien établie entre les pays-membres en matière de réglementation concernant la sécurité des barrages. Il s'agit d'un domaine qui, on peut le prévoir, sera de plus en plus réglementé en raison de l'attention de plus en plus grande portée aux problèmes de sécurité des barrages.

Dans l'étude de Le Moigne, les questions ayant des implications sur les coûts comprenaient : l'examen des plans et spécifications des marchés, l'inspection par les services de l'État et la tenue à jour des dossiers au cours de la construction, les inspections de sécurité après la construction, et l'effort annuel consacré à la surveillance des barrages.

Au cours de la préparation du présent Bulletin, un certain nombre de différences subtiles mais toutefois importantes sont apparues entre divers pays. En France, par exemple, des comités constitués d'ingénieurs spécialement choisis sont chargés de l'examen de la sécurité des barrages. Au Royaume-Uni, les mêmes questions relèvent du Décret sur les Réservoirs (UK Reservoirs Act) et sont confiées à des personnes faisant l'objet d'une sélection. Au Royaume-Uni, le contrôle réglementaire de la sécurité des réservoirs remonte au Décret initial de 1930 sur les Réservoirs. Dans ce pays, la loi souligne l'importance de la sélection de personnes compétentes, celles-ci ayant alors toute liberté pour donner des avis techniques, à l'intérieur d'un cadre non rigide, sur tous les aspects de la sécurité des barrages. D'autres pays suivent une procédure plus rigoureuse. Cette dernière

expenditures comes not from any formal legal requirement but from within the owner organisations. It is only good sense for owners to want to maintain in safe operating condition, revenue producing structures whose capital cost has long ago been written off but that, with appropriate maintenance, can continue to function for many years. The questions that concern dam engineers and operators then are: how much surveillance and preventative maintenance is enough?, and should guidelines be established?

There is also the question of public safety and of the economic consequences of dam failure. River valley development downstream of dams following construction is often extensive and the consequences of dam failure escalate in importance. If not yet in force, regulations can be foreseen obliging dam owners and operators to maintain structures in a safe condition, to have a failure warning system and emergency plan and, it can be imagined, to establish a fund and plans for the eventual decommissioning of dam structures. How can such regulations and costs be managed?

7.3.2. Cost Implications of Dam Safety Regulations

Perhaps because of the large number of jurisdictions concerned, available information on the regulation of dam safety world-wide is fragmentary. The best reference is Le Moigne (1993) who addressed a survey on government regulations to ICOLD members. The responses to this survey, which were voluntary, and only representative of a fraction of ICOLD's membership, do not lend themselves to rigorous analysis but the mere absence of information is perhaps an indication that there is no well established practice among member countries of regulating dam safety; this is still a new field that will predictably be regulated more and more as awareness of dam safety issues increases.

Questions in the Le Moigne survey with cost implications included requirements for: review of contract plans and specifications; government inspection and record keeping during construction; safety inspections after construction; and the annual effort devoted to dam inspection.

During the preparation of this Bulletin a number of subtle yet important differences in approach between countries emerged. In France for example dam safety is reviewed by boards or panels of specially chosen Engineers. In the UK the same issues are entrusted through the UK Reservoirs Act, to selected individuals. Statutory control of reservoir safety in the UK dates back to the original UK Reservoirs Act in 1930. Also in the UK the emphasis in law is on the selection of appropriate individuals and then allowing them freedom of technical judgement within non-mandatory guidelines, on all aspects of dam safety. Other countries are following a more prescriptive approach. The latter approach may be appropriate in developing countries where there is a dearth of sufficiently experienced Engineers or in industrialised countries where dam building is largely complete and future

approche peut convenir aux pays en voie de développement où il y a un manque d'ingénieurs suffisamment expérimentés, ou aux pays industrialisés où la construction des barrages est en grande partie achevée et où les générations futures n'auront pas l'occasion de développer leurs compétences techniques en matière de conception et de construction de barrages aussi largement que leurs prédécesseurs.

L'action pour la sécurité des barrages peut être menée par des maîtres d'ouvrage responsables ou des maîtres d'ouvrage réalisant que s'ils ne prennent pas une initiative d'autres la prendront. Elle peut résulter de préoccupations du public ou de professions techniques agissant de concert. Des changements politiques peuvent modifier l'approche. Pendant de nombreuses années, la propriété et l'exploitation des grands barrages hydroélectriques, en Argentine, appartenaient à deux établissements publics Agua-y-Energia et Hidronor. La sécurité des barrages rentrait implicitement dans leurs activités. Avec la privatisation, la cession et le fractionnement des actifs de ces établissements, un nouvel organisme central, l'ORSEP, a été créé pour le contrôle de la sécurité des barrages en Argentine, d'une manière nouvelle et coordonnée. Dans d'autres pays développés, tels que les États-Unis et la Norvège, le rôle des organismes chargés du contrôle de la sécurité des barrages est en train de s'étendre au-delà des questions concernant l'intégrité structurale des ouvrages en y intégrant la gestion globale des questions environnementales.

Avec ou sans règlements gouvernementaux, il apparaît évident que la sécurité des barrages existants conduit à des activités croissantes impliquant toute la profession (maîtres d'ouvrage, ingénieurs conseils et entrepreneurs), que la plus grande partie des activités liées à ce domaine résultent de l'initiative des maîtres d'ouvrage, et que la nécessité de codifier de bonnes pratiques est reconnue de plus en plus. Au Canada, par exemple, l'Association Canadienne de la Sécurité des Barrages (Canadian Dam Safety Association - CDSA), organisation bénévole regroupant des professionnels travaillant dans ce domaine, a récemment publié des recommandations à l'intention des maîtres d'ouvrage. La CDSA anticipe sur la nécessité d'une réglementation relative à la sécurité des barrages, et les recommandations ont également pour but de constituer un document de référence complet et détaillé pour les autorités canadiennes qui peuvent être amenées à préparer une législation.

Un des principes exprimés dans les recommandations de la CDSA, et dans la plupart des pays, est que le maître d'ouvrage a la responsabilité ultime pour toutes les questions se rattachant à la sécurité des barrages. Il est satisfaisant que ces recommandations aient été établies par des professionnels en matière de barrages, incluant des représentants de tous les principaux propriétaires de barrages dans le pays. Les recommandations peuvent être mises à jour périodiquement pour tenir compte des expériences acquises en cours d'exploitation et des progrès techniques réalisés au Canada et à l'étranger. L'expérience canadienne dans la mise au point de recommandations peut être préconisée comme modèle à tous les autres organismes nationaux où des règlements relatifs à la sécurité des barrages sont à l'étude.

Selon la manière dont les règlements concernant la sécurité des barrages sont formulés, le coût incombant au maître d'ouvrage peut être réduit en utilisant des nouvelles techniques et des nouvelles méthodes d'évaluation. Les dispositifs

generations will not have the opportunity to develop dam design and building skills to the same extent as their predecessors.

The drive for dam safety may come from responsible owners or from owners realising that if they do not take an initiative others will. It may come through public concern or through the concerted voice of the Engineering professions. Political changes can change the focus and approach. For many years the large hydro-electric dams in Argentina were owned and operated by the two government based agencies Agua-y-Energia and Hidronor. Dam safety was considered implicit in their operations. With the privatisation, sale and fragmentation of these assets a new central body, ORSEP, has been established to monitor and control the issue of dam safety in Argentina in a new and co-ordinated manner. In other, developed countries such as the USA and Norway the role of dam safety agencies is developing beyond issues of structural integrity and towards overall environmental management.

With or without government regulations, it seems clear that the safety of existing dams is a growing business that involves the entire dam community (owners, consultants and contractors), that most of the activity is due to the initiative of owners and that there is an increasing recognition of the need to codify good practice. In Canada, for instance, the Canadian Dam Safety Association (CDSA), a voluntary grouping of concerned professionals working in this field, has recently issued guidelines for owners. The CDSA anticipates the need for dam safety regulation and the guidelines are also intended as a comprehensive reference for Canadian authorities who may be involved in preparing legislation.

One of the principles expressed in the CDSA guidelines, and in most countries, is that the dam owner has the ultimate responsibility for all aspects of dam safety. It is appropriate, therefore that these guidelines have been prepared by dam professionals, including representatives of all major dam owners in the country. The cost implications of the guidelines are thus accepted implicitly by the owners. The guidelines can be revised periodically to reflect operating experience and technological developments both in Canada and abroad. This Canadian experience in the development of guidelines can be recommended as a model to all other national groups where dam safety regulations are under consideration.

Depending on how dam safety regulations are formulated, owner's costs may be reduced through the use of new technology and new evaluation procedures. Automated monitoring systems and the use of computer data banks for data accu-

d'auscultation automatique et l'utilisation de banques de données et de logiciels pour l'enregistrement et le traitement des données sont de plus en plus courants pour la surveillance et les études de comportement des barrages. Ces procédés ont l'avantage de permettre des mesures plus fréquentes des paramètres-clés et une connaissance rapide du comportement du barrage, et de réduire les besoins en main-d'oeuvre et le coût de la surveillance. L'analyse de risque, traitée au paragraphe 2.3., est un autre outil susceptible d'être utilisé pour évaluer si des travaux de réhabilitation d'un barrage sont nécessaires.

Le niveau de surveillance peut varier d'un pays à l'autre. Les règlements français imposent une visite complète du barrage tous les 10 ans. Autrefois, il était jugé nécessaire de vider complètement la retenue. Plus récemment, on a admis qu'une inspection au moyen d'un petit sous-marin suffisait, ce qui s'est avéré particulièrement économique pour les maîtres d'ouvrage. Dans des pays, tels que les États-Unis et l'Australie, des essais de grande envergure ont été effectués sur des dispositifs d'annonce des crues, considérés comme un complément ou une variante à l'agrandissement coûteux d'un évacuateur de crue. En Australie, certaines communautés concernées ont considéré que l'on s'attendait à ce qu'elles acceptent, du fait de la présence même de dispositifs d'annonce des crues dans leurs habitations, une augmentation de risque et une réduction de valeur des propriétés, afin de faire réaliser des économies au propriétaire d'un barrage situé à l'amont. Ailleurs, des dispositifs identiques ont connu plus de succès. Une clé du succès est le maintien de bonnes et étroites relations avec le public tout le long des diverses étapes de réalisation d'un tel dispositif.

Comme il fallait s'y attendre, il y a évidemment des différences d'approche et de pratique, entre les divers pays, dans le domaine de la sécurité des barrages. Toutefois, on peut conclure que, nonobstant l'existence de règlements dans un pays ou de juridiction dans un autre, les professionnels de barrages se préoccupent d'identifier et de codifier la pratique dans le domaine de la sécurité. Dans la mesure où ces initiatives peuvent influencer sur une future législation, cela conduira à une approche internationale cohérente, tout en tenant compte des coûts associés.

mulation and treatment are becoming more and more common for dam surveillance and behaviour studies. These have the advantage of providing more frequent measurements of key indicators and rapid recall of behaviour data, as well as reducing the manpower requirement and cost of surveillance. Risk analysis, as discussed in Section 2.3, is another tool that can be used to evaluate requirements for dam rehabilitation work.

The degree of surveillance can vary between countries. French rules require the dam wall to be inspected every 10 years. At one time this was deemed to require the complete emptying of the reservoir. More recently inspection by submarine has been deemed to suffice which has had considerable operational cost benefits to the owners. In countries such as the USA and Australia extensive trials have been carried out with flood warning schemes as an adjunct or alternative to costly dam spillway upgrading. This has met with mixed results with some communities in Australia concerned that they were being expected to accept an increased risk and possibly reduced property values, by the very presence of flood warning systems in their homes, in order to save money for an upstream dam owner. Elsewhere similar schemes have been more successful. A key to success would appear to be good and thorough public relations throughout all stages of implementing such a scheme.

Clearly there remain differences in approach and practice between countries on the issue of dam safety. Indeed this is to be expected. It can however, be concluded that, regardless of the status of existing regulations from one country or jurisdiction to another, dam professionals are moving to identify and codify practice in the field of safety. To the extent that these initiatives can influence future legislation, there should result a coherent international approach promoting good practice in dam safety while taking due account of the concomitant cost.

8. RÉFÉRENCES SÉLECTIONNÉES / SELECTED REFERENCES

- ANCOLD, « Guidelines on Risk Assessment », 1994.
- Bowles D.S. et al, « Evaluation of dam safety at a series of hydropower dams including risk assessment », The Embankment dam, Thomas Telford, London, 1991.
- ICE, « Floods and reservoir safety », The Institution of Civil Engineers, London, 1989.
- ICOLD/CIGB Bulletin 32a, « Bituminous concrete facings for earth and rockfill dams »/« Masques amont en béton bitumineux pour barrages en terre et en enrochement », Oct. 1977 (2nd Edition, 1982).
- ICOLD/CIGB, Bulletin 38 « Use of thin membranes on fill dams »/« Utilisation de membranes minces sur les barrages en remblai », 1981.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 54 « Soil-cement for embankment dams »/« Sol-ciment pour les barrages en remblai », 1986.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 63 « New construction methods - State of the art »/« Nouvelles méthodes de construction - Technique actuelle », 1989.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 70 « Rockfill dams with concrete facing - State of the art »/« Barrages en enrochement à masque en béton - Technique actuelle », 1989.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 75 « Roller compacted concrete for gravity dams - State of the art »/« Béton compacté au rouleau pour barrages-poids - Technique actuelle », 1989.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 84 « Bituminous cores for fill dams - State of the art »/« Noyaux bitumineux pour barrages en remblai - Technique actuelle », 1992.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 88 « Rock foundations for dams »/« Fondations rocheuses de barrages », 1993.
- ICOLD/CIGB, Bulletin 89 « Reinforced rockfill and reinforced fill for dams - State of the art »/« Enrochement armé et remblai armé pour barrages - Technique actuelle », 1993.
- Jizhong S. et al, « Synthetic safety evaluation of existing dams », Dam Engineering, Vol. V, Issue 2, Reed Business Publishing, (UK), 1994.
- Kelly J. and Male S., « Value management in design and construction », E & FN Spon, London, 1993.

- Oosthuizen C. and Elges, M.F.W.K., « Risk based safety evaluation of dams », The Civil Engineer in South Africa, Dec. 1988.
- Raftery J., « Risk analysis in project management », E & FN Spon, London, 1994.
- Salmon G.M. and Hartford D.N.D., « Risk analysis for dam safety », International Water Power & Dam Construction, (UK), Mar. and April 1995.
- Le Moigne G., « Supervision of Dams by Governmental Authorities World-Wide », Agriculture and Natural Resources Departmental, World Bank, September 1993
- Rooseboom A., Georgens A.H.M. and Grobler A., « Environmental Effects of Large Dams » in Large Dams and Water Systems in South Africa, SANCOLD, 1994.
- Canadian Dam Safety Association, « Dam Safety Guidelines », January 1995.

ANNEXES/APPENDICES

Annexe A - Exemples

Annexe B - Analyse de risque
des barrages

Appendix A - Case histories

Appendix B - Risk analysis
at dams

EXEMPLES

Barrage	Type	Date	Pays	Mesures	Économies
Tucuruí	ER	1984	Brésil	Autre conception : évacuateur de crue avec cuillère de dissipation (220 m ³ /s/m), situé entre l'usine et le barrage principal.	Fouilles rocheuses 2 300 000 m ³ Béton de l'ouvrage 350 000 m ³ Économie : 1 % environ du coût du projet
Canoas II	ER	En construction	Brésil	Critères de conception : dissipation de l'énergie sur l'évacuateur de crue, améliorée par un radier à contre-pente.	Béton de l'évacuateur de crue 14 000 m ³ Économie : 3 % environ du coût du projet
Capivara	ER	1983	Brésil	Autre conception : dérivation de la rivière à travers des conduites situées sous le barrage.	Économie : 6 % environ du coût du projet
Itauba	ER	1980	Brésil	Autre conception : dérivation de la rivière par une galerie en forme de voûte traversant le barrage.	Économie : 4 % environ du coût du projet
Tucuruí	PG	1988	Brésil	Critères de conception : la mesure des sous-pressions au cours de la construction a permis d'adopter de nouveaux critères pour la conception de la prise d'eau.	Économie sur le coût du projet environ 1 million \$ US
Xingó	ER	1993	Brésil	Critères de conception : 1. Ouvrage de prise de la dérivation : béton de masse initial remplacé par du béton armé. 2. La conception du profil en travers de la digue fut modifiée : enrochement avec noyau central, au lieu d'enrochement et terre homogène avec noyau amont, en raison d'excès d'enrochement au barrage principal par suite de changements dans le zonage des matériaux.	Fouilles rocheuses 3 500 m ³ Béton de masse 30 000 m ³ Économie sur le coût du projet environ 5,3 millions \$ US Fouilles rocheuses 100 000 m ³ Terre et enrochement 700 000 m ³ Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 20 millions \$ US

CASE HISTORIES

Dam	Type	Date	Country	Measure	Savings
Tucuruí	ER	1984	Brazil	Alternative Design: Flip bucket spillway (220m ³ /s/m) located between the powerhouse and main dam.	Rock Excavation 2 300 000 m ³ Structural Concrete 350 000 m ³ Saving approximately 1% of project cost.
Canoas II	ER	Under construction	Brazil	Design Criteria: Spillway energy dissipation improved by a negatively inclined apron.	Spillway Concrete 14 000 m ³ Saving approximately 3% of project cost.
Capivara	ER	1983	Brazil	Alternative Design: River diversion through the penstocks located under the dam.	Saving approximately 6% of project cost.
Itauba	ER	1980	Brazil	Alternative Design: River diversion through arch shaped gallery through the dam.	Saving approximately 4% of project cost.
Tucuruí	PG	1988	Brazil	Design Criteria: Monitoring of uplift during construction allowed new criteria to be adopted for the intake design.	Project cost saving approximately US\$ 1 million
Xingó	ER	1993	Brazil	Design Criteria: 1. Diversion Intake structure original mass concrete design changed to reinforced concrete. 2. Dike section design was modified from rockfill with u/s core and homogenous earth fill to rockfill with central core due to surplus of rock at main dam through changes in the material zoning.	Rock Excavation 3 500 m ³ Mass Concrete 30 000 m ³ Project cost saving approximately US\$ 5.3 million Rock Excavation 100 000 m ³ Earth and Rockfill 700 000 m ³ Additional project cost saving of approximately US\$ 20 million

Barrage	Type	Date	Pays	Mesures	Économies
Xingó (suite)	ER	1993	Brésil	<p>3. Un évacuateur principal et un évacuateur auxiliaire furent adoptés au lieu de deux évacuateurs de service. L'évacuateur auxiliaire fut conçu avec revêtement partiel.</p> <p>Autre conception : BCR utilisé au lieu de béton de masse pour le remplacement de la roche de fondation de mauvaise qualité sous la cuillère du coursier de l'évacuateur de crue rive droite.</p> <p>Autres mesures :</p> <p>1. Optimisation de la conception de l'évacuateur de crue.</p> <p>2. Optimisation de la conception de l'usine hydroélectrique et de la prise d'eau.</p> <p>3. Optimisation de la conception de l'évacuateur de fond provisoire.</p>	<p>Béton 45 000 m³ Armatures 1 700 t Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 13 millions \$ US</p> <p>Béton 55 000 m³ Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 3,6 millions \$ US</p> <p>Fouilles rocheuses 18 000 m³ Béton 33 000 m³ Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 9,2 millions \$ US</p> <p>Fouilles rocheuses 320 000 m³ Béton 72 000 m³ Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 39 millions \$ US</p> <p>Béton 12 700 m³ Économie supplémentaire sur le coût du projet environ 2,4 millions \$ US</p> <p>Inconnues</p>
Nishigoya	PG	1963	Japon	<p>Autre conception : une feuille verticale en résine de chlorure de vinyle fut utilisée comme membrane d'étanchéité entre le barrage en béton et l'appui rive droite.</p>	
Tadami	ER	1989	Japon	<p>Autre conception : une paroi étanche verticale en béton de bentonite, de 80 cm d'épaisseur, et des injections de ciment broyé par voie humide furent exécutées sous le noyau central dans les dépôts alluviaux.</p>	<p>Fouilles 249 000 m³ Remblai 266 000 m³ Économie : 23 % environ du coût du barrage</p>
Katanskaya	PG	1987 (?)	Russie	<p>Spécifications de construction/Autre conception : l'injection des joints des plots fut éliminée en adoptant une construction du barrage par étapes.</p>	<p>Inconnues</p>

Dam	Type	Date	Country	Measure	Savings
Xingó (continued)	ER	1993	Brazil	<p>3. A service spillway and an auxiliary spillway were adopted over the design of two service spillway. The auxiliary spillway was designed as partially lined.</p> <p>Alternative Design: RCC used instead of mass concrete for replacement of poor foundation rock under the right spillway chute deflector.</p> <p>Other:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Design optimisation of the spillway structure. 2. Design optimisation of the power house and intake structure. 3. Design optimisation of the temporary bottom outlet structure 	<p>Concrete Reinforcement Additional project cost saving of approximately US\$ 13 million</p> <p>Concrete Additional project cost saving of approximately US\$ 3.6 million</p> <p>Rock Excavation Concrete Additional project cost saving of approximately US\$ 9.2 million</p> <p>Rock Excavation Concrete Additional project cost saving of approximately US\$ 39 million</p> <p>Concrete Additional project cost saving of approximately US\$ 2.4 million</p>
Nishigoya	PG	1963	Japan	Alternative Design: A vertical vinyl chloride resin sheet was placed as a water tight membrane between the concrete dam and the right abutment.	Unknown
Tadami	ER	1989	Japan	Alternative Design: An 80 cm thick vertical cut off bentonite concrete diaphragm wall and wet milled cement grouting was constructed beneath the central core in alluvial deposits.	Excavation Embankment fill Saving approximately 23% of dam cost.
Katanskaya	PG	1987?	Russia	Construction Spec/Alternative Design: The joint grouting of the blocks was eliminated by a staged construction of the dam.	Unknown

Barrage	Type	Date	Pays	Mesures	Économies
Kureyskaya	ER	1988	Russie	Spécifications de construction/Autre conception : un évacuateur provisoire en BCR fut construit sur le talus aval du barrage en enrochement pour passer les crues pendant la construction du barrage.	Fouilles rocheuses 1 000 000 m ³ Creusement de galerie 500 000 m ³ Béton 55 000 m ³ Réduction de 12 mois environ de la durée de construction
Capanda	PG	1987	Angola	Critères de conception/Autre conception : un barrage en BCR ainsi qu'une nouvelle conception de coffrage furent adoptés.	Économie sur le coût du projet environ 45 millions \$ US
Kateshwar	PG	1994	Inde	Critères de conception/Autre conception : un barrage en BCR fut adopté à la place d'un ouvrage en béton de masse.	Réduction de 6 mois environ de la durée de construction. Économie sur le coût du projet environ 4,5 millions \$ US
Tashkumirskaya	PG	1989	Kirghizstan	Spécifications de construction : remplacement partiel du béton de masse par du BCR.	Quantité de ciment 12 000 t
Puy-laurent	VA	-	France	L'utilisation de bétons faiblement dosés en ciment avec adjonction de cendres volantes a permis d'augmenter les longueurs des plots de 15 m à 25 et 30 m. Le rideau d'injection a été réalisé pendant l'exécution des fouilles. L'utilisation de hausses fusibles Hydroplus a permis de réduire la largeur de l'évacuateur de crue de la première phase et permettra d'augmenter la capacité de retenue dans une deuxième phase.	
Aouloz	PG	-	Maroc	Critères de conception : une modification du séisme de dimensionnement de projet a conduit au raidissement de la pente du parement aval. Autre conception : les ouvrages de dérivation proposés par les entrepreneurs furent adoptés.	Économie de 5 % environ sur le coût.
Al Wahda	ER	-	Maroc	Critères de conception : le bassin d'amortissement fut conçu sans revêtement. Autre conception : les trois galeries proposées dans le projet initial furent réduites en nombre.	Économie de 2 % environ sur le coût total. Économie de 3 % environ sur le coût total.

Dam	Type	Date	Country	Measure	Savings
Kureyskaya	ER	1988	Russia	Construction Spec/Alternative Design: A provisional RCC spillway on the d/s face of the rockfill was constructed to pass floods during the construction of the dam.	Rock Excavation 1 000 000 m ³ Tunnelling 500 000 m ³ Concrete 55 000 m ³ Reduction in construction time of approximately 12 months.
Capanda	PG	1987	Angola	Design Criteria/Alternative Design: An RCC dam was adopted together with new form work design.	Project cost saving of approximately US\$ 45 million
Katashwor	PG	1994	India	Design Criteria/Alternative Design: An RCC dam was adopted over a mass concrete type structure.	Reduction in construction time of approximately 6 months Project cost saving of approximately US\$ 4.5 million
Tashkumirskaya	PG	1989	Kirghizstan	Construction Spec: RCC as partial replacement of mass concrete.	Cement Content 12 000 t
Puylaurent	VA	-	France	Low cement contents and Fly-ash replacement in concrete allowed block lengths to be increased from 15 m to 25 and 30 m. Curtain grouting was completed during the excavations phase. The use of Hydroplus fuse gates allowed 1st Phase spillway length reductions and second stage reservoir storage increases.	-
Aouloz	PG	-	Morocco	Design Criteria: Modification to the Basic Design Earthquake led to the steepening of the d/s face slope. Alternative Design: Contractors proposed diversion works were adopted.	Saving approximately 5% of cost.
Al Wähda	ER	-	Morocco	Design Criteria: The plunge pool was designed to be unlined. Alternative Design: The three galleries proposed in the initial design were reduced in number.	Saving approximately 2% of the total cost. Saving approximately 3% of the total cost

Barrage	Type	Date	Pays	Mesures	Économies
Hassan I	ER	-	Maroc	Critères de conception : les pressions interstitielles furent mesurées pendant la construction des 50 premiers mètres de hauteur du remblai. Des valeurs plus faibles que celles prévues ont permis d'adopter une pente plus raide sur les 90 derniers mètres du barrage.	Économie de 3 % environ.
Imha (principal)	ER	1990	Corée	Changement de profil du remblai et des propriétés des matériaux dans une zone interne.	Économie 0,9 million \$ US
Imha (régulation)	ER	1990	Corée	Adoption d'un barrage en enrochement au lieu d'un barrage en béton	Économie 0,8 million \$ US
Aspects généraux			Corée	Loi spéciale 3997 publiée en 1987 et amendée par la loi 4232 en 1990 pour encourager la construction de barrages à buts multiples. L'attention est concentrée sur le développement des profits tirés d'un barrage, afin de maximiser la valeur globale nationale. Tous les aspects, incluant la gestion ultérieure de l'aménagement, sont traités.	L'objectif n'est pas tant de faire des économies que de maximiser la valeur globale pour un coût donné.
Aspects généraux			Iran	Dans le cadre d'un projet d'aménagement, une attention spéciale est portée à la gestion du bassin versant amont, le but étant de réduire l'alluvionnement et de maximiser la durée de vie du réservoir. On peut aussi réduire la hauteur du barrage principal en diminuant la tranche de retenue nécessaire pour tenir compte de la perte future de capacité, comme dans le cas du barrage Ostoor.	Dans le cas du barrage Ostoor, la diminution de la surface du réservoir réduisit de 24 % les coûts des impacts nuisibles associés.

Type de barrage :
ER : Enrochement
PG : Poids
VA : Voûte

Dam	Type	Date	Country	Measure	Savings
Hassan I	ER		Morocco	Design Criteria: Pore pressures were monitored over the construction of 50 m in height of the embankment. Lower than expected pore pressures allowed a steeper slope to be adopted on the final 90 m of construction.	Saving approximately 3%
Imha (Main)	ER	1990	Korea	Change in embankment profile and material properties in one internal zone.	Saving US\$ 0.9 million
Imha (Regulation)	ER	1990	Korea	Change from concrete dam to rockfill dam.	Saving US\$ 0.8 million
General			Korea	Special law 3997 introduced in 1987 and amended by law 4232 in 1990 to stimulate the construction of Multipurpose dams. This focuses on the comprehensive development of benefits from a dam in order to maximize the overall national value. It deals with all aspects including the subsequent management of the project.	The effect is not so much to save cost but to maximize overall value for a given cost.
General			Iran	A focus is given in project development to upstream catchment management. This is aimed at reducing sediment and maximizing the useful life of the reservoir. It can also reduce the required height of the main dam by reducing the allowance needed for future storage loss, as in the case of the Ostoor dam.	In the case of the Ostoor dam the reduction in reservoir area reduced associated negative impact costs by 24%.

Type of dam :
ER: Rockfill;
PG: Gravity;
VA: Arch

ANALYSE DE RISQUE DES BARRAGES

Les données de base sur la méthodologie de l'analyse de risque des barrages sont résumées au chapitre 2. La présente Annexe a pour objet de présenter des recommandations pratiques concernant la conduite de telles analyses. Il y a lieu de noter que les approches varient d'un organisme à l'autre ; aussi l'Annexe se concentre-t-elle sur les divers facteurs dont il faut tenir compte lors de la préparation des « arbres d'événements ». Elle donne des exemples de leur utilisation et des conseils pour une lecture ultérieure.

Une rupture potentielle doit essentiellement s'amorcer avec un événement initiateur. Cela peut être une crue, ou un séisme, ou est parfois plus mystérieux, comme une erreur humaine d'exploitation ou le développement de mauvaises herbes. La rupture se terminera avec une conséquence ou une réponse, telle qu'une rupture de talus ou une brèche dans le barrage. Divers auteurs relient ces début et aboutissement par un certain nombre d'étapes et de descriptions. Pour plus de commodité, la terminologie proposée par Salmon et Hartford (1995) sera utilisée ici.

Salmon et Hartford relient le risque au mécanisme de rupture, puis à la réponse du barrage. Pour un chemin de rupture donné, la probabilité d'occurrence de chaque événement est multipliée l'une par l'autre pour donner la probabilité de rupture le long de ce chemin. Différents modes de rupture peuvent survenir à partir d'un risque donné, ce qui étale l'arbre d'événements. Un exemple d'application de ce système à un barrage donné, pour un événement donné tel qu'une crue et pour des mécanismes tels qu'une obstruction de l'évacuateur et une érosion, est représenté sur la Fig. B. 1.

On notera que :

- certains risques, tels que des crues ou des séismes, peuvent être intrinsèquement spécifiés en termes de probabilité ;
- pour de telles études, une probabilité peut être attribuée même aux crues maximales probables ;
- de nombreux facteurs utilisés ne peuvent être évalués qu'en se basant sur les meilleurs jugements et avis disponibles ;
- d'autres facteurs, tels que le type de barrage et la probabilité de remplissage de la retenue, peuvent être introduits dans l'analyse.

Pour un barrage donné, il peut y avoir 75 à 100 chemins de rupture possibles à identifier. Les listes figurant dans le Tableau B.1. ne sont données qu'à titre indicatif et ne doivent pas être considérées comme complètes ou définitives. Dans ce Tableau, les facteurs relatifs aux barrages en remblai et aux barrages en béton sont également mélangés, et donc, pour un barrage donné, seul un nombre limité des

RISK ANALYSIS AT DAMS

The outline of basic approaches to risk analysis at dams is summarised in Chapter 2. This Appendix seeks to give practical guidance on how such analyses may be attempted. It should be noted that approaches vary from agency to agency and this Appendix therefore focuses on the type of issues which should be considered in preparing “Event Trees”. It gives examples of their use and advice on further reading.

Essentially a potential failure has to start with an initiating event. This may be a flood or an earthquake or may arguably be more subtle such as operator error or weed growth. The failure will end with an outcome or response such as a slope failure or dam breach. Different authors connect these by differing numbers of steps and descriptions. For convenience the terminology proposed by Salmon and Hartford (1995) will be used here.

Salmon and Hartford link Hazard to Failure Mechanism and then through to Dam Response. For a given failure path the appropriate probability of each occurring are multiplied together to give the failure probability along that path. Different Failure Modes can occur from a given hazard and these expand the event tree. An example of how the system might work for a given dam, for a given event such as floods and for reviewing spillway blockage and erosion, is given on Figure B1.

It should be noted that:

- certain hazards such floods or earthquakes may be inherently stated in terms of their probability.
- for such studies even probable maximum floods may be assigned a probability.
- many factors used can only be assessed by best available expert opinion and judgement.
- other factors such as the type of dam and the probability of the reservoir being full can be factored into any analysis.

For any given dam there may be 75 to 100 alternative failure paths to be identified. The lists in Table B1 should be used as prompts and not taken as necessarily complete or definitive. In Table B1 factors relating to fill dams and concrete dams are also mixed, hence for any given dam, only a limited number of those quoted may apply. In any particular case the list should however be supplemented

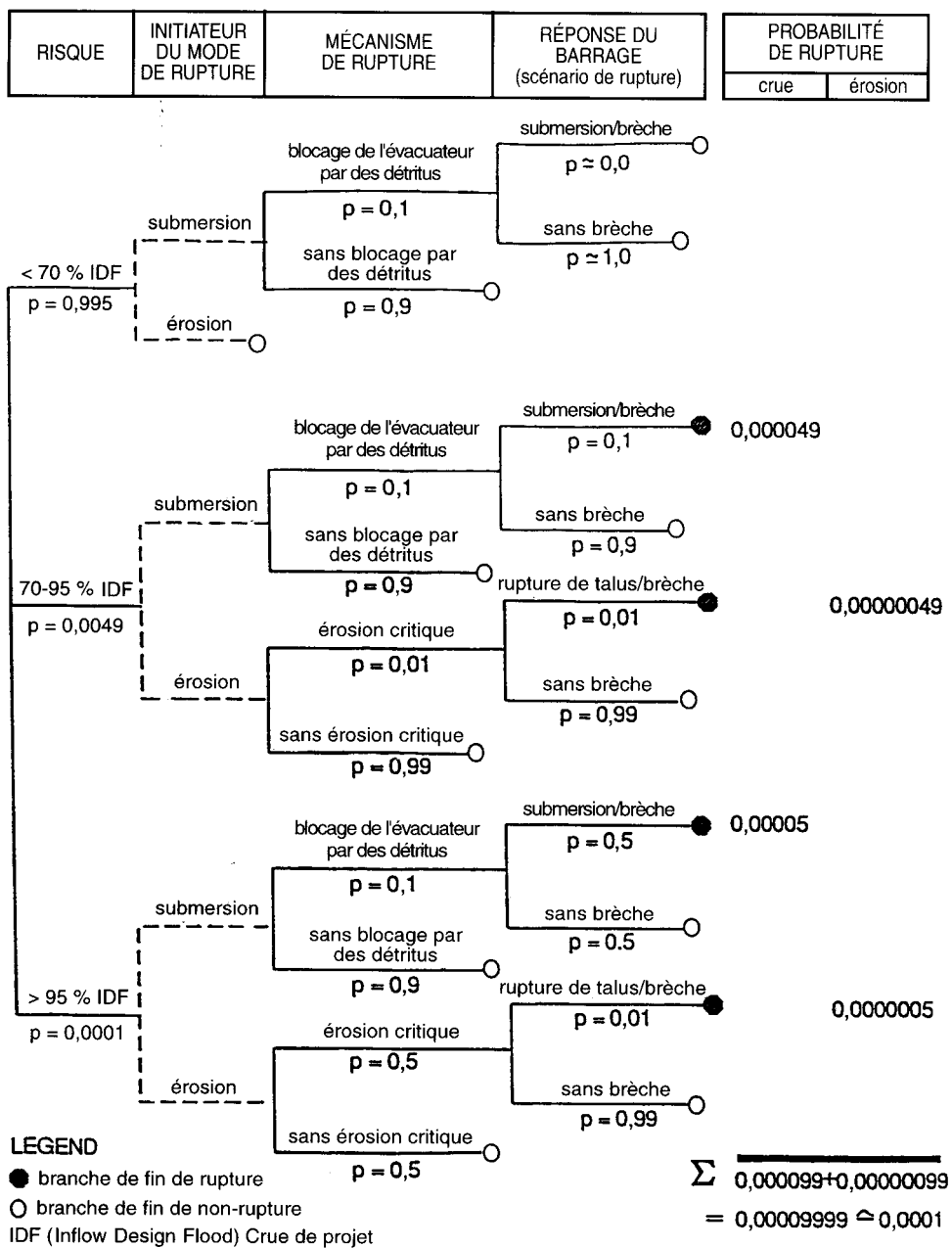


Fig. B.1.

Exemple d'arbre d'événements hydrologiques pour des dégâts causés à un évacuateur par une crue

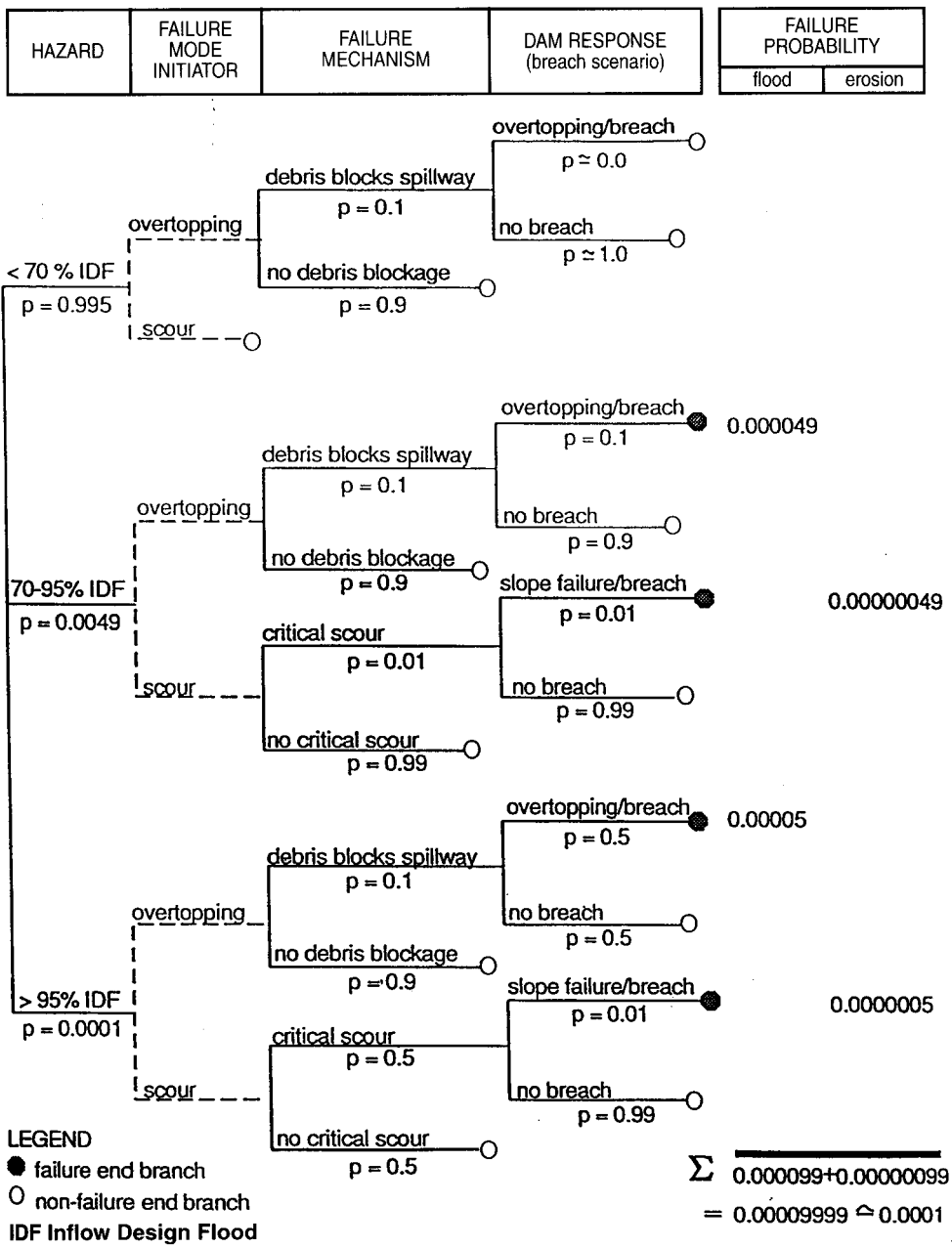


Fig. B.1.

An indicative hydrological event tree for spillway flood damage

Tableau B.1 – Facteurs caractéristiques à prendre en compte lors de l'établissement d'arbres d'événements de rupture pour des barrages.

Risques caractéristiques		
<ul style="list-style-type: none"> • Orage • Séisme 	<ul style="list-style-type: none"> • Crue • Glissement de versant 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture d'un barrage amont • Panne de fourniture d'énergie
<ul style="list-style-type: none"> • Crue de projet dépassée • Exploitation déficiente • Sabotage • Contrôle inadéquat du projet 	<ul style="list-style-type: none"> • Séisme de projet dépassé • Paramètres adoptés inadéquats • Vandalisme • Contrôle inadéquat de la construction 	<ul style="list-style-type: none"> • Erreur d'exploitation • Vidange rapide • Inspections déficientes • Retards dans la construction
<ul style="list-style-type: none"> • Étude hydrologique insuffisante 	<ul style="list-style-type: none"> • Creusement de terriers 	<ul style="list-style-type: none"> • Détérioration et vieillissement • Transport d'arbres
<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaissances insuffisantes sur le site • Attaque chimique 	<ul style="list-style-type: none"> • Apports de détritrus • Croissance d'arbres et de plantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact de missile
<ul style="list-style-type: none"> • Temps sec prolongé • Rupture d'une vanne d'évacuateur • Parapet inadéquat 	<ul style="list-style-type: none"> • Critères de projet changés • Coup de foudre • Riprap inadéquat 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcification
Mécanisme de rupture		
<ul style="list-style-type: none"> • Submersion 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstruction de drains 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstruction d'évacuateur de crue
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturation hydraulique • Glissement de terre • Fissuration • Vannes inexploitable • Augmentation des pressions interstitielles • Augmentation du niveau de retenue 	<ul style="list-style-type: none"> • Renard • Tassement différentiel • Trous d'affaissement • Affouillement • Sous-pression 	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitation • Blocage de vannes • Fissures de traction sèches • Perte de cohésion • Percolations excessives
	<ul style="list-style-type: none"> • Action excessive des vagues 	
Réponse du barrage		
<ul style="list-style-type: none"> • Brèche • Rupture par glissement • Rupture de fondation • Rupture de l'ouvrage 	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion progressive • Rupture par renversement • Liquéfaction 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture de talus • Flottaison • Rupture dynamique

facteurs cités est applicable. Dans chaque cas particulier, la liste devra être soigneusement examinée pour identifier des chemins de rupture possibles n'y figurant pas.

Comme mentionné dans le chapitre 2, une fois les probabilités de rupture estimées, les éventuels défauts particuliers de conception peuvent être identifiés, ce qui permet d'obtenir un niveau de sécurité cohérent pour l'ensemble des ouvrages. En outre, les conséquences d'une rupture peuvent être examinées conjointement avec les probabilités, ce qui permet de vérifier si le niveau global de risque est ou n'est pas évalué de façon satisfaisante.

D'autres documents comprennent ceux publiés par Oosthuizen et Elges (1988), Bowles et al (1991), Jizhong et al (1994) et ANCOLD (1994).

Table B.1 – Typical factors for consideration in preparing failure event trees for dams.

Typical hazards		
<ul style="list-style-type: none"> • Storm • Earthquake 	<ul style="list-style-type: none"> • Flood • Reservoir landslide 	<ul style="list-style-type: none"> • Upstream dam failure • Power supply failure
<ul style="list-style-type: none"> • Design Flood exceeded • Improper operations • Sabotage • Inadequate design control 	<ul style="list-style-type: none"> • Design earthquake exceeded • Incorrect parameters assumed • Vandalism • Inadequate construction control 	<ul style="list-style-type: none"> • Operator error • Rapid draw down • Incompetent inspections • Construction delays
<ul style="list-style-type: none"> • Inadequate hydrological assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Burrowing arrivals 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioration and ageing
<ul style="list-style-type: none"> • Inadequate site investigations 	<ul style="list-style-type: none"> • Debris inflow 	<ul style="list-style-type: none"> • Tree removal
<ul style="list-style-type: none"> • Chemical attack 	<ul style="list-style-type: none"> • Tree and plant growth 	<ul style="list-style-type: none"> • Missile impact
<ul style="list-style-type: none"> • Prolonged dry weather • Outlet gate failure • Inadequate wave wall 	<ul style="list-style-type: none"> • Changed design criteria • Lightning strike • Inadequate rip-rap 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcification
Failure mechanism		
<ul style="list-style-type: none"> • Overtopping 	<ul style="list-style-type: none"> • Drain blockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Spillway blockage
<ul style="list-style-type: none"> • Hydrofracturing • Earth slippage • Cracking • Gates inoperable • Pore pressure rise 	<ul style="list-style-type: none"> • Piping • Differential settlement • Sink holes • Undermining • Uplift 	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitations • Gates jamming • Dry tensile cracks • Loss of cohesion • Excessive seepage
<ul style="list-style-type: none"> • Rise in pool level 	<ul style="list-style-type: none"> • Excessive wave action 	
Dam response		
<ul style="list-style-type: none"> • Breach • Sliding failure • Foundation failure • Structural failure 	<ul style="list-style-type: none"> • Progressive erosion • Overturning failure • Liquefaction 	<ul style="list-style-type: none"> • Slope failure • Floatation • Dynamic failure

by careful thought and inspections to identify possible failure paths not listed.

As mentioned in Chapter 2, once the probabilities of failure have been assessed particular design deficiencies (if any) may be identified enabling a coherent level of safety to be achieved throughout the works. In addition the consequences of failure can be addressed in conjunction with the probabilities and this can be used to assess whether or not the overall level of Hazard is being appropriately addressed.

Further reading includes that published by Oosthuizen and Elges (1988), Bowles et al (1991), Jizhong et al (1994) and ANCOLD (1994).

Imprimerie Louis-Jean
05003 Gap
Dépôt légal : Décembre 1997
N° 988
ISSN 0534-8293
ISBN 92-807-1590-7

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne  *Computerized Archives on line*

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



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