

# **COST OF FLOOD CONTROL IN DAMS**

---

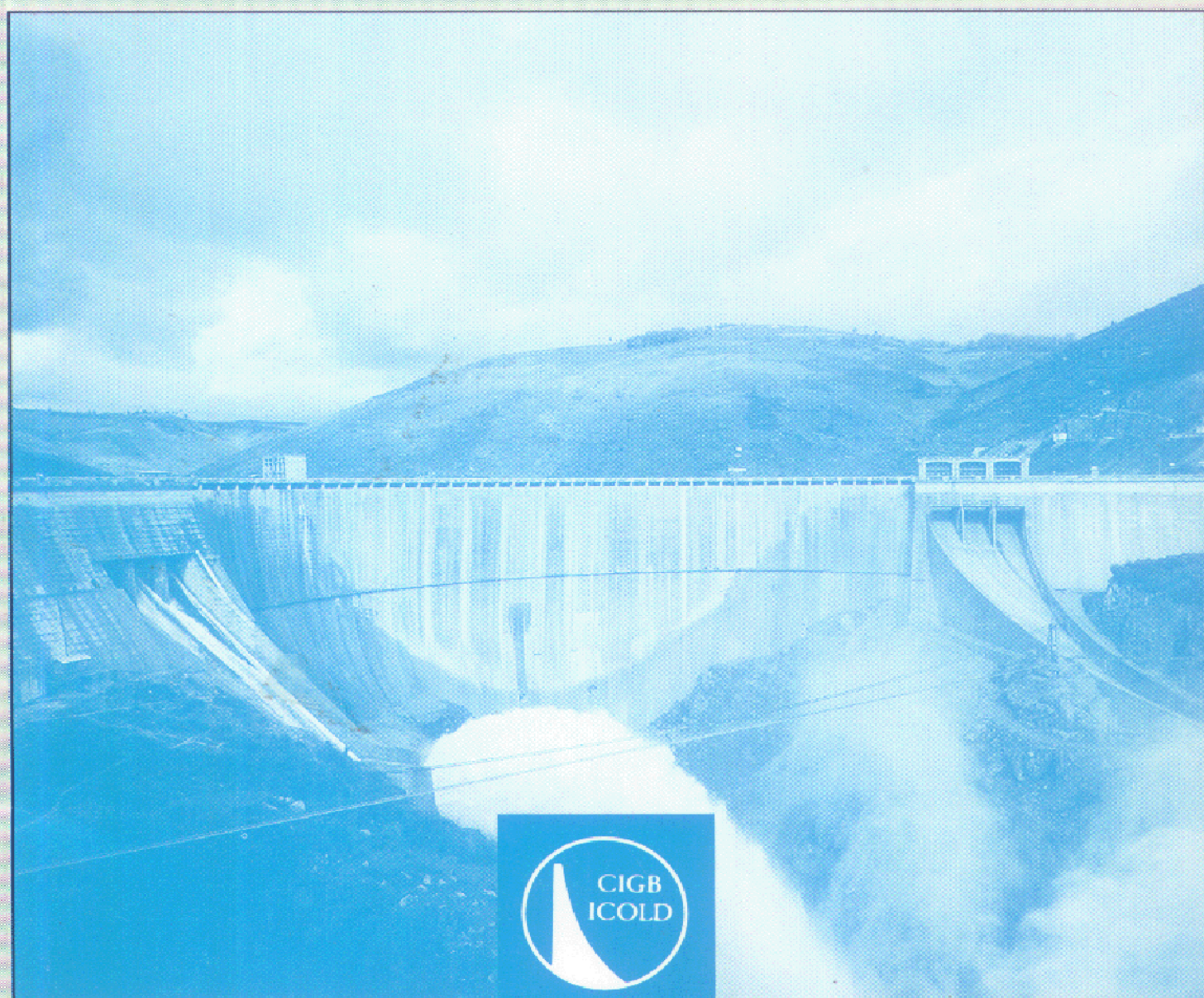
*Review and recommendations*

# **COÛT DE LA MAÎTRISE DES CRUES DANS LES BARRAGES**

---

*Synthèse et recommandations*

**Bulletin 108**



**1998**

Original text in English  
French translation by Y. Le May.

*Texte original en anglais  
Traduction en français par Y. Le May.*

# **COST OF FLOOD CONTROL IN DAMS**

---

*Review and recommendations*

# **COÛT DE LA MAÎTRISE DES CRUES DANS LES BARRAGES**

---

*Synthèse et recommandations*

---

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 53 75 16 52 - Fax : (33) 01 40 42 60 71

---

**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)

<i>Chairman/Président</i>	
France/France	F. LEMPÉRIÈRE
<i>Members/Membres</i>	
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. SITUATION ACTUELLE
  3. ANALYSE DES DONNÉES REÇUES
  4. MAÎTRISE DES CRUES EN COURS D'EXPLOITATION DES BARRAGES
  5. MAÎTRISE DES CRUES PENDANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE
- ANNEXES

---

## CONTENTS

---

- FOREWORD
1. INTRODUCTION
  2. CURRENT SITUATION
  3. ANALYSIS OF DATA RECEIVED
  4. FLOOD CONTROL IN EXISTING DAMS
  5. CONTROL OF FLOODS DURING DAM CONSTRUCTION
- APPENDICES

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	10
1. INTRODUCTION .....	12
1.1. Généralités .....	12
1.2. Accidents dus à une insuffisance de la capacité des ouvrages d'évacuation .....	12
2. SITUATION ACTUELLE .....	22
2.1. Informations statistiques .....	22
2.2. Réponses à l'enquête .....	22
3. ANALYSE DES DONNÉES REÇUES .....	28
3.1. Ouvrages d'évacuation définitifs .....	28
3.2. Ouvrages de dérivation provisoire .....	34
4. MAÎTRISE DES CRUES EN COURS D'EXPLOITATION DES BARRAGES .....	36
4.1. Coût des évacuateurs de crue et sécurité .....	36
4.2. Crues à considérer .....	36
4.3. Évaluation de la sécurité d'exploitation des barrages en période de crue .....	40
4.4. Maîtrise de la crue de projet .....	44
4.5. Maîtrise des crues de sécurité .....	50
5. MAÎTRISE DES CRUES PENDANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE .....	68
5.1. Capacité des ouvrages de dérivation provisoire .....	68
5.2. Ouvrages de dérivation provisoire .....	72
ANNEXE I - QUESTIONNAIRE .....	78
ANNEXE II - ANALYSE DES INFORMATIONS REÇUES .....	84
1. Ouvrages d'évacuation .....	84
1.1. Barrages en béton .....	84
1.2. Barrages en remblai .....	102
2. Dérivation provisoire de la rivière .....	114
2.1. Barrages en béton .....	114
2.2. Barrages en remblai .....	122

---

## TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD.....	11
1. INTRODUCTION.....	13
1.1. General.....	13
1.2. Accidents Caused by Insufficient Outlet Capacity.....	13
2. CURRENT SITUATION.....	23
2.1. Statistical Information.....	23
2.2. Responses to the Survey.....	23
3. ANALYSIS OF DATA RECEIVED.....	29
3.1. Spillways and Outlet Structures.....	29
3.2. Temporary River Diversion.....	35
4. FLOOD CONTROL IN OPERATING DAMS.....	37
4.1. Cost of Spillways and Safety.....	37
4.2. Flood to be Considered.....	37
4.3. Evaluation of the Safety of Operating Dams under Flood Conditions.....	41
4.4. Control of the Design Flood.....	45
4.5. Control of Extreme Floods.....	51
5. CONTROL OF FLOODS DURING DAM CONSTRUCTION.....	69
5.1. Capacity of Temporary Diversion Works.....	69
5.2. River Diversion Works.....	73
APPENDIX I - QUESTIONNAIRE.....	79
APPENDIX II - ANALYSIS OF THE INFORMATION RECEIVED.....	85
1. Spillways and Outlets.....	85
1.1. Concrete Dams.....	85
1.2. Embankment Dams.....	103
2. Temporary River Diversion.....	115
2.1. Concrete Dams.....	115
2.2. Embankment Dams.....	123

---



ANNEXE III - SOLUTIONS NON TRADITIONNELLES DE MAÎTRISE DES CRUES.....	128
1. Digue fusible en terre .....	128
2. Hausses fusibles gravitaires .....	134
3. Vannes gonflables .....	136
4. Seuils labyrinthes fixes .....	138
ANNEXE IV - COÛT D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN. EXEMPLES .....	142
1. Introduction .....	142
2. Travaux d'entretien .....	142
2.1. Vannes des évacuateurs de crue .....	142
2.2. Ouvrages de vidange de fond.....	146
3. Coût d'entretien du matériel électromécanique des ouvrages d'évacuation .....	146

APPENDIX III - MORE RECENT SOLUTIONS FOR FLOOD CONTROL .....	129
1. Earthfill Fuse Plugs.....	129
2. Gravity Fusegates.....	135
3. Inflatable Gates.....	137
4. Permanent Labyrinth Sills .....	139
APPENDIX IV - COST OF OPERATION AND MAINTENANCE. EXAMPLES...	143
1. Introduction .....	143
2. Maintenance Works.....	143
2.1. Spillway Gates .....	143
2.2. Bottom Outlets.....	147
3. Cost of Maintenance of Electromechanical Equipment of Outlets.....	147

---

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

---

- Fig. 1 - Causes des ruptures des barrages en remblai
- Fig. 2 - Causes des ruptures des ouvrages annexes
- Fig. 3 - Comparaison des rapports : barrages rompus de type T/total des barrages rompus
- Fig. 4 - Modification type du remblai avec utilisation de béton compacté au rouleau
- Tableau 1 - Barrages achevés entre 1983 et 1986 (à l'exclusion de la Chine) - Type et capacité de l'évacuateur de crue
- Tableau 2 - Liste des pays ayant fourni des informations
- Tableau 3 - Barrages en béton espagnols - Détermination de la crue de projet
- Tableau 4 - Barrages en béton espagnols - Caractéristiques principales des évacuateurs de crue
- Tableau 5 - Barrages en béton espagnols - Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue
- Tableau 6 - Barrages en béton non espagnols - Détermination de la crue de projet
- Tableau 7 - Barrages en béton non espagnols - Caractéristiques principales des évacuateurs de crue
- Tableau 8 - Barrages en béton non espagnols - Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue
- Tableau 9 - Barrages en remblai espagnols - Détermination de la crue de projet
- Tableau 10 - Barrages en remblai espagnols - Caractéristiques principales des évacuateurs de crue
- Tableau 11 - Barrages en remblai espagnols - Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue
- Tableau 12 - Barrages en remblai non espagnols - Détermination de la crue de projet
- Tableau 13 - Barrages en remblai non espagnols - Caractéristiques principales des évacuateurs de crue
- Tableau 14 - Barrages en remblai non espagnols - Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue
- Tableau 15 - Barrages en béton espagnols - Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire
- Tableau 16 - Barrages en béton non espagnols - Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire
- Tableau 17 - Barrages en remblai espagnols - Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire
- Tableau 18 - Barrages en remblai non espagnols - Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire
- Tableau 19 - Barrages espagnols - Coût annuel d'entretien du matériel électromécanique

---

## LIST OF FIGURES AND TABLES

---

- Fig. 1 - Causes of failure in embankment dams
- Fig. 2 - Causes of failure in auxiliary works
- Fig. 3 - Comparison of ratios : failed dams of type T/total failed dams
- Fig. 4 - Typical embankment modification using Roller Compacted Concrete
- Table 1 - Dams completed between 1983 and 1986 (excluding China) - Type of spillway and capacity
- Table 2 - List of the countries that sent informations
- Table 3 - Spanish concrete dams - Determination of the design flood
- Table 4 - Spanish concrete dams - Principal characteristics of the spillways
- Table 5 - Spanish concrete dams - Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways
- Table 6 - Non Spanish concrete dams - Determination of the design flood
- Table 7 - Non Spanish concrete dams - Principal characteristics of the spillways
- Table 8 - Non Spanish concrete dams - Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways
- Table 9 - Spanish embankment dams - Determination of the design flood
- Table 10 - Spanish embankment dams - Principal characteristics of the spillways
- Table 11 - Spanish embankment dams - Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways
- Table 12 - Non Spanish embankment dams - Determination of the design flood
- Table 13 - Non Spanish embankment dams - Principal characteristics of the spillways
- Table 14 - Non Spanish embankment dams - Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways
- Table 15 - Spanish concrete dams - Principal characteristics of the temporary diversion works
- Table 16 - Non Spanish concrete dams - Principal characteristics of the temporary diversion works
- Table 17 - Spanish embankment dams - Principal characteristics of the temporary diversion works
- Table 18 - Non Spanish embankment dams - Principal characteristics of the temporary diversion works
- Table 19 - Spanish dams - Annual cost of maintenance of electromechanical equipment

---

## AVANT-PROPOS

---

Au cours des trois dernières décennies, 60 % environ des ruptures de barrages survenues dans le monde sont imputables aux crues. Un grand nombre des récents et nouveaux barrages sont situés dans des régions peuplées et sont exposés à des débits spécifiques de crues élevés ; la capacité totale des évacuateurs de crue construits chaque année est de l'ordre de 500 000 m<sup>3</sup>/s.

Les crues plus fortes maintenant prises en compte, les enseignements tirés de l'exploitation et des ruptures au cours de ces 30 dernières années, et le champ plus large de solutions possibles ont une grande influence sur la conception des nouveaux évacuateurs de crue. Le présent Bulletin propose des dispositions intéressantes et économiques destinées à assurer la sécurité des nouveaux barrages et à améliorer celle des barrages en service; les méthodes de maîtrise de la rivière pendant la construction sont également examinées.

Le Bulletin a été préparé par le Prof. Dr. Ing. Rodrigo del Hoyo, en collaboration avec les Membres du Comité CIGB du Coût des Barrages et le Comité Espagnol. Qu'ils en soient tous vivement remerciés.

F. Lempérière  
Président du Comité du Coût des Barrages

### REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les Membres du Comité du Coût des Barrages pour leurs commentaires et suggestions, et spécialement M. Murphy pour la mise au point du texte anglais.

---

## FOREWORD

---

Since 30 years, 60 % of world dam failures have been due to floods. Most of recent and new dams are situated in populated areas and subject to high specific flows and the total capacity of spillways built every year is about 500 000 m<sup>3</sup>/s.

Larger floods now considered, lessons from operation and failures since 30 years, wider range of possible solutions have a great impact on design of new spillways : the Bulletin is proposing relevant cost effective dispositions to guarantee safety of new dams and improve safety of existing dams ; methods for river control during construction are also reviewed.

The Bulletin has been prepared by Prof. Dr. Eng. Rodrigo del Hoyo with the cooperation of Members of ICOLD Committee on Cost of Dams and Spanish Committee. They deserve our best appreciation.

F. Lempérière  
Chairman, Committee on Cost of Dams

### ACKNOWLEDGEMENTS

The Author is grateful for the comments and suggestions received from the Members of the ICOLD Committee on Cost of Dams and especially to Mr. Murphy for the detailed review of the English text.

---

# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1. GÉNÉRALITÉS

En 1989, la CIGB a publié le Bulletin 73 « Économies dans la construction des barrages », préparé par le Comité de la Technologie de Construction des Barrages et analysant les possibilités de réduire les coûts de construction des barrages. Les conclusions de ce Bulletin ont permis d'exprimer le souhait de constituer un nouveau Comité, le Comité du Coût des Barrages, chargé d'examiner les moyens de réduire les coûts des barrages sans compromettre leur sécurité.

Parmi les divers sujets rentrant dans la mission de ce Comité, l'un revêt une grande importance, tant sur le plan de son impact économique sur le coût des ouvrages que sur celui de la sécurité : il s'agit du coût des ouvrages de maîtrise des crues, au cours de la construction (ouvrages provisoires) et pendant l'exploitation normale (ouvrages définitifs).

L'incertitude réelle liée à la détermination du débit de la crue maximale au site du barrage fait que la définition de la capacité des ouvrages d'évacuation est un facteur subjectif important, à la fois pour les ouvrages définitifs - évacuateurs de crue et autres ouvrages d'évacuation - et pour les ouvrages provisoires de dérivation de la rivière pendant les travaux.

Le but de ce Bulletin est d'analyser objectivement les facteurs de coût associés à la maîtrise des crues et de recommander des mesures permettant d'éliminer ou de réduire le conservatisme excessif et coûteux existant dans le domaine des ouvrages d'évacuation.

Cependant, il faut reconnaître que les critères pessimistes, pouvant augmenter le coût du barrage sans améliorer la sécurité, ne sont pas toujours appliqués et que, dans certains pays, il est nécessaire d'investir plus d'argent en vue d'améliorer la sécurité des barrages.

## 1.2. ACCIDENTS DUS À UNE INSUFFISANCE DE LA CAPACITÉ DES OUVRAGES D'ÉVACUATION

Les résultats d'une enquête mondiale effectuée par le Comité *ad hoc* de la CIGB « Interprétation Statistique des Ruptures de Barrages » ont montré que :

- Pour les barrages en béton, les problèmes de fondation constituaient la cause de rupture la plus fréquente.
- Pour les barrages en remblai, la submersion était la principale cause de rupture.
- Pour les barrages en maçonnerie, la submersion constituait également la cause de rupture la plus fréquente.
- Quand la rupture était imputable aux ouvrages annexes, l'insuffisance de capacité des évacuateurs était la cause de rupture la plus fréquente.

---

# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1. GENERAL

In 1989 ICOLD published Bulletin No. 73, 'Savings in Dam Construction', prepared by the Committee on Technology of Dam Construction, in which means of avoiding costs in dam construction were analyzed. From the conclusions of this Bulletin emerged the desirability of forming a new ICOLD Committee, the Committee on Cost of Dams, whose purpose would be the examination of means of reducing the cost of dams without compromising their safety.

Among the various themes to be developed by this Committee, one of great importance, as much for its economic impact on the cost of the works as for its significance in relation to safety, is that dealing with the cost of flood control, both for temporary purposes during construction and for permanent operations.

The real uncertainty that exists in establishing the value of the maximum flood level at the damsite makes the determination of the capacity of discharge works an important subjective factor, both for permanent works such as the spillways or other outlet structures as well as for temporary works for river diversion.

The aim of this Bulletin is to examine objectively cost factors involved in flood control and to recommend measures that will eliminate or reduce unnecessary and costly conservatism in discharge facilities.

However, it is necessary to recognize that pessimistic criteria, that may increase dam cost without improving safety, are not always applied and that in some countries, it is necessary to invest more money in order to improve the safety of the dams.

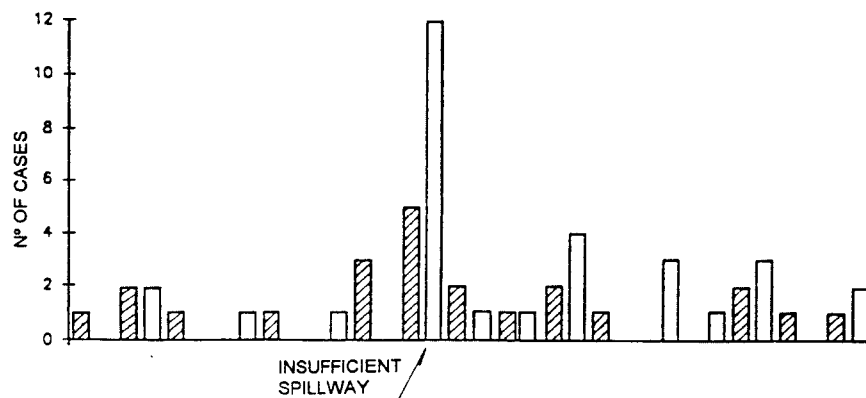
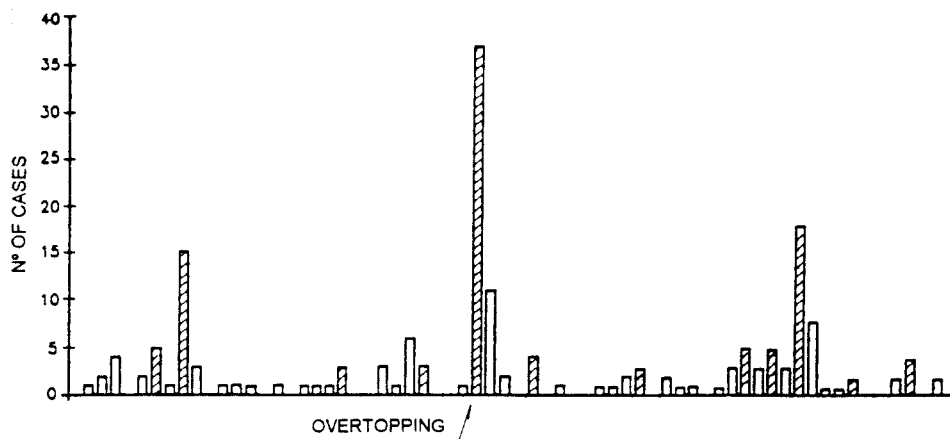
## 1.2. ACCIDENTS CAUSED BY INSUFFICIENT OUTLET CAPACITY

The results of a world-wide survey carried out by the ICOLD Ad hoc Committee which undertook the statistical interpretation of dam failures showed that:

- For concrete dams, failures are most often caused by foundation problems.
- For embankment dams, failures are most often caused by overtopping.
- For masonry dams, failures are also most often caused by overtopping.
- When the failure was due to inadequate performance of auxiliary works, insufficient spillway capacity was the most frequent cause.



Les Fig. 1 et 2 présentent les résultats de l'enquête sus-mentionnée, indiquant clairement comme cause principale de rupture : la submersion pour les barrages en remblai, et l'insuffisance de capacité des évacuateurs lorsque la rupture est imputable aux ouvrages annexes.



Comme indiqué dans l'Introduction au Bulletin établi par le Comité ad hoc précité, les données recueillies sur les ruptures de barrages doivent être interprétées avec prudence du fait que les réponses des divers pays à l'enquête sont plus ou moins détaillées. Par exemple, beaucoup d'informations manquent sur les ruptures de barrages de faible hauteur. Peu de cas de rupture de barrages de 10 à 15 m de hauteur ont été signalés, bien qu'il existe un grand nombre de barrages dans cette

Fig. 1 and 2 present data from the above-referenced survey that clearly show the importance of overtopping in the failure of embankment dams and of insufficient spillway capacity when failure of auxiliary works is the cause.

Fig. 1  
Causes of failure in embankment dams  
*Causes des ruptures des barrages en remblai*

N° of cases	<i>Nombre de cas</i>
Overtopping	<i>Submersion</i>

Fig. 2  
Causes of failure in auxiliary works  
*Causes des ruptures des ouvrages annexes*

N° of cases	<i>Nombre de cas</i>
Insufficient spillway	<i>Insuffisance de l'évacuateur de crue</i>

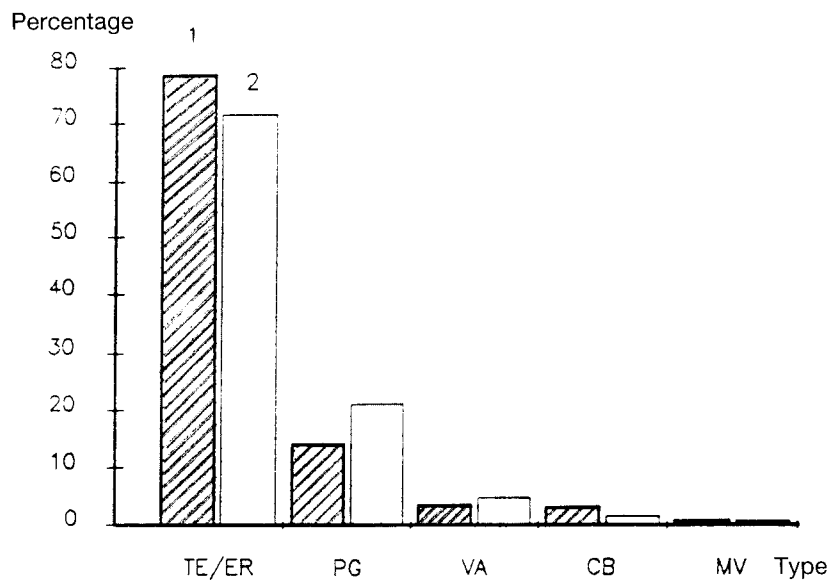
As noted in the introduction to the report by the Ad Hoc Committee, the data collected on conditions leading to dam failure should be interpreted with prudence since the responses to the survey varied in their level of detail from one country to another. Much information is lacking for instance on the failure of low dams. Few cases have been reported of the failure of dams 10 to 15 meters high, although there are many dams in the world in this range. The majority of failures reported by

catégorie. La plupart des ruptures relatives par des pays en voie de développement sont associées à de grandes retenues et à des accidents ayant causé des dégâts importants.

Selon F. Lempérière (Barrages rompus par submersion, *Water Power and Dam Construction*, septembre-octobre 1993), la submersion est manifestement une cause majeure de rupture. Sur un total de 20 000 grands barrages construits dans le monde (à l'exclusion de la Chine), environ 100 cas de rupture ont été signalés depuis 1950. Quarante de ces ruptures étaient dues à une submersion. Cinq ruptures ont causé chacune plus de 1 000 victimes. Il semble également que la majorité des ruptures de barrages en Chine est imputable à la submersion.

À partir des commentaires présentés ci-dessus sur les ruptures de barrages, on peut déduire que la plus grande sensibilité des barrages en remblai et des barrages en maçonnerie à la submersion se rattache aux problèmes de sécurité concernant les ouvrages d'évacuation – en particulier, les évacuateurs de crue – et la capacité des ouvrages de dérivation provisoire.

La Fig. 3 montre les pourcentages des barrages rompus, de divers types, par rapport au nombre total des barrages rompus, ainsi que les pourcentages des barrages existants, de divers types, par rapport au nombre total des barrages existants. Une étroite relation entre les deux groupes de données peut être observée ; mais, si le risque de submersion des barrages existants, en béton et en remblai, peut être identique, la plus grande vulnérabilité des barrages en remblai fait que la submersion constitue leur principale cause de rupture.



Il en résulte que les barrages en remblai doivent avoir des évacuateurs de crue dimensionnés avec prudence, alors que pour les barrages en béton, dans des

developing countries are linked to large reservoirs or to incidents that caused large damage.

In accordance with F. Lempérière (Dams that have failed by flooding, Water Power and Dam Construction, september-october 1993), overtopping is clearly a major cause of failure. In a world population (excluding China ) of 20 000 large dams, some 100 cases of failure have been reported since 1950. Forty of these failures were due to overtopping. Five failures have caused over 1 000 victims each. Finally, it seems that the majority of dam failures in China have also been attributed to overtopping.

From the above comments on dam failures, the greater sensitivity of embankment and masonry dams can be deduced relative to safety problems associated with discharge works, specifically spillways, and with the capacity of temporary diversion works.

Fig. 3 shows the percentage of dams of various types that have failed relative to the total of all failed dams together with the percentage of each type of dam relative to the total of all dams that have been built. A close relationship can be observed between the two sets of data which suggests that while the occurrence of overtopping in existing concrete and embankment dams may be similar, it is the greater vulnerability of embankment dams that makes overtopping their principal cause of failure.

Fig. 3  
Comparison of ratios  
*Comparaison des rapports*

$$1. \quad \begin{array}{l} \text{Number of dams of a certain type which have failed} \\ \text{Total number of dams that have failed} \end{array} \times 100$$

$$\frac{\text{Nombre de barrages rompus de type } T}{\text{Nombre total des barrages rompus}} \times 100$$

$$2. \quad \begin{array}{l} \text{Number of existing dams of a certain type} \\ \text{Total number of existing dams} \end{array} \times 100$$

$$\frac{\text{Nombre de barrages existants de type } T}{\text{Nombre total des barrages existants}} \times 100$$

Percentage  
Type  
TE Earth  
ER Rockfill  
VA Arch  
CB Buttress  
MV Multi-arch

*Pourcentage*  
*Type*  
*TE Terre*  
*ER Enrochement*  
*VA Voûte*  
*CB Contreforts*  
*MV Voûtes multiples*

It follows that embankment dams should have spillways that are conservatively dimensioned while with concrete dams, in extreme circumstances, overtopping can

circonstances exceptionnelles, on peut accepter une submersion pendant un temps limité et tolérer quelques dégâts, à condition, bien entendu, que cela ne conduise pas à la destruction du barrage.

De toute façon, dans le cas des vieux barrages-poids dont la hauteur n'est pas trop grande, il est nécessaire de tenir compte du risque de submersion du barrage et d'augmentation des sous-pressions pouvant compromettre la stabilité. Il faut rappeler que dans le projet des barrages anciens la sous-pression n'était pas obligatoirement prise en compte comme une des forces agissant sur l'ouvrage.

Une autre observation pouvant être tirée des informations disponibles sur les ruptures de barrages en remblai par submersion est que le taux de ruptures au cours de la construction est notablement plus grand pour les barrages de hauteur supérieure à 30 mètres que pour ceux de hauteur moindre. Au cours de l'exploitation normale, le taux de ruptures par submersion est plus élevé pour les barrages créant de grandes retenues que pour ceux de grande hauteur.

Mis à part le fait que les ruptures de barrages de faible hauteur n'ont peut-être pas été prises en compte dans les informations fournies, une autre raison probable est qu'un grand nombre de barrages de petite hauteur ont été construits dans de petits bassins versants conduisant à des crues maximales faibles, ces barrages pouvant, de ce fait, être équipés d'évacuateurs de crue à seuil libre. L'utilisation de la revanche totale jusqu'à la crête du barrage permet une capacité d'évacuation notablement supérieure au débit de la crue de projet.

Dans le cas des barrages de plus grande hauteur, il y a peu de différence entre la capacité de l'évacuateur de crue définie lors du projet et la capacité maximale d'évacuation utilisant la revanche disponible. Pour cette raison, le risque de submersion est étroitement lié au choix de la crue de projet.

Pour un site de barrage donné, la tranche de retenue réservée à l'amortissement des crues et la capacité des ouvrages d'évacuation peuvent varier suivant le type de barrage considéré ou, ce qui est la même chose, selon une pratique acceptée, voulant qu'aucune submersion ne peut être admise dans le cas des barrages en remblai, alors que pour les barrages en béton une submersion peut être tolérée dans certaines circonstances.

Lors de la comparaison des diverses solutions au stade initial d'un projet, il importe de tenir compte de ces considérations, afin que la comparaison soit basée sur des solutions ayant les mêmes caractéristiques dans la mesure où la sécurité est concernée.

Depuis 1950, 14 barrages en remblai, dont seulement trois avaient moins de 30 m de hauteur, se sont rompus au cours de leur construction. Il est évident que plus la hauteur du barrage est grande, plus la période de construction est longue. Dans de nombreux cas, des barrages de moins de 30 m de hauteur peuvent être construits au cours de la saison sèche et le programme des travaux peut être établi de façon que la probabilité de subir une forte crue soit minimale. Un barrage de grande hauteur ne peut généralement être construit en une seule année, et le risque qu'une forte crue survienne pendant la construction est beaucoup plus grand.

Aussi est-il évident que, pour un site de barrage donné, le dimensionnement de la dérivation provisoire, de même que le type des ouvrages (type de batardeau, etc.),

be accepted for a limited time and some damage tolerated, provided that it doesn't lead to destruction of the dam.

In any case, when dealing with older gravity dams that are not too high it is necessary to consider the possibility of submersion of the dam, taking into account the effect of increased uplift pressures that could endanger the stability. It should be recalled that in the design of older dams uplift was not necessarily taken into account as one of the forces acting on the structure.

Another observation that can be made from the available data on embankment failure by overtopping is that the proportion of dam failures during construction is notable greater for dams over 30 meters high than for those of lesser height. During permanent operation the proportion of dam failures by this cause is greater for dams with large reservoirs than for those that are of great height.

Apart from the fact that the failure of dams of low height may not have been taken into account in the information provided, a reason that also seems probable is that a large proportion of low height dams have been constructed in small drainage basins with relatively small maximum floods and, as well, have been constructed with ungated spillways. Using the total freeboard to the crest of the dam, this results in a real discharge capacity that is notably greater than the project design flood.

With dams of greater height, particularly if they are gated structures, there is essentially no difference between the design spillway capacity and the real maximum spillway capacity using the available freeboard. For this reason, the risk of overtopping is very sensitive to the choice of design floods.

For a given damsite, the reservoir capacity provided for flood routing and the capacity of the outlet works may vary according to the type of dam that is being considered or, which is the same thing, in accordance with accepted practice no overtopping can be permitted with embankment dams, while with concrete dams overtopping may be allowed in certain circumstances.

It is important, when comparing alternative solutions during the initial stages of a project, to take into account these considerations, in order that the comparison is based on solutions that have the same characteristics so far as safety is concerned.

Since 1950, 14 embankment dams failed during construction, of which only three were less than 30 meters high. It is evident that the higher the dam, the longer will be the construction period. In many cases, dams less than 30 meters in height can be built during the dry season and the work can be planned such that the probability of experiencing a major flood can be minimal. A high dam cannot generally be constructed in a single year, which means that the risk of experiencing a major flood during the construction period is much greater.

It is evident, therefore, that for a given damsite the dimensioning of the temporary diversion works, as well as the nature of the works (type of cofferdams,

dépendront du type de barrage choisi et du programme des travaux. Étant donné l'importance de l'impact économique que peuvent avoir les ouvrages de dérivation provisoire sur le coût du barrage, ce problème devra être examiné lors de la comparaison des diverses solutions.

Ces premiers commentaires relatifs à l'influence du type et des dimensions du barrage sur la capacité des ouvrages d'évacuation définitifs et des ouvrages de dérivation provisoire sont destinés à attirer l'attention sur la nécessité de tenir compte, lors de l'étude de faisabilité d'un projet de barrage, de tous les facteurs intervenant dans la comparaison des diverses solutions. Cette phase revêt une très grande importance pour la mise au point d'un projet et, dans de nombreux cas, n'est pas traitée de manière convenable, c'est-à-dire qu'elle ne reçoit pas toute la rigueur et l'attention qu'elle mérite.

etc.) will depend on the type of dam that is chosen and on its construction schedule. Given the important economic impact that the cost of temporary river diversion can have on the total cost of the dam, this consideration should be taken into account in the comparison of alternative solutions.

These first comments on the influence of the type and size of dam on the capacity of permanent discharge and temporary diversion works are intended to call attention to the importance of taking into account all pertinent factors when comparing alternative solutions during the feasibility study phase of a dam project. This phase is extremely important for the development of a project and in many cases is not treated in an adequate manner, with all the rigour and attention that it deserves.



---

## 2. SITUATION ACTUELLE

---

### 2.1. INFORMATIONS STATISTIQUES

Pour les barrages achevés entre 1983 et 1986, le Tableau 1 ci-après, extrait du Bulletin CIGB n° 83 « Évolution des barrages - Influence des coûts », indique les capacités des évacuateurs de crue et leurs types (avec ou sans vannes). Les barrages sont classés suivant leur hauteur et leur type.

À partir de l'analyse des données figurant dans le Tableau 1, les observations suivantes peuvent être faites :

1. Les évacuateurs de crue avec vannes représentent 30 % du total.
2. 28 % des barrages en remblai ont un évacuateur de crue avec vannes, alors que 40 % des barrages en béton ont un évacuateur de ce type.
3. Pour les évacuateurs de crue d'une capacité inférieure à 100 m<sup>3</sup>/s, 5 % sont équipés de vannes ; ce pourcentage est de : 20 % pour les évacuateurs d'une capacité de 100 à 1 000 m<sup>3</sup>/s, 57 % pour les évacuateurs d'une capacité de 1 000 à 10 000 m<sup>3</sup>/s, 82 % pour les évacuateurs de capacité supérieure à 10 000 m<sup>3</sup>/s.
4. Environ 25 % des barrages de hauteur inférieure à 60 m ont un évacuateur de crue avec vannes, ce pourcentage étant de 50 % pour les barrages de hauteur supérieure à 60 m.
5. En résumé, on peut constater que l'adoption d'évacuateurs de crue avec vannes est plus courante pour les barrages en béton, et que le pourcentage de barrages ayant des évacuateurs de ce type augmente avec la capacité de l'évacuateur.

En vue d'accroître les données du Tableau 1 pour une analyse plus complète des dispositifs adoptés pour la maîtrise des crues au cours de la construction et de l'exploitation des barrages, un questionnaire fut établi et adressé à tous les membres du Comité du Coût des Barrages représentant 21 pays. Cette enquête était destinée à recueillir suffisamment de données pour tirer des conclusions applicables aux futurs projets de barrages. Chaque pays était invité à fournir des informations sur le plus grand nombre de barrages pour lesquels des données fiables étaient disponibles. Ce questionnaire est reproduit dans l'Annexe I.

### 2.2. RÉPONSES À L'ENQUÊTE

Sur les 21 pays ayant reçu le questionnaire, seuls huit pays ont répondu, les données concernant un total de 306 barrages. Le Tableau 2 ci-dessous donne la liste de ces huit pays.

---

## 2. CURRENT SITUATION

---

### 2.1. STATISTICAL INFORMATION

For dams completed between 1983 and 1986, Table 1, reproduced below from ICOLD Bulletin No 83 " Cost impact on future dam design ", shows spillway capacities and whether or not they are gated structures. The dams are classified according to height and type of construction.

From analysis of the data presented in Table 1 the following observations can be made:

1. Gated spillways represent 30 percent of the total;
2. 28 percent of embankment type dams have gated spillways while for concrete dams 40 percent have spillways that are gated;
3. For spillways with a capacity of less than 100 m<sup>3</sup>/s, 5 percent are gated; 20 percent of those with a capacity varying from 100 to 1 000 m<sup>3</sup>/s are gated, 57 percent of those with a capacity from 1000 to 10 000 m<sup>3</sup>/s are gated and 82 percent of spillways having a capacity greater than 10 000 m<sup>3</sup>/s are gated structures;
4. Some 25 percent of dams lower than 60 meters in height have gated spillways, while for dams over 60 meters in height 50 percent of the spillways are gated;
5. In summary, it can be seen that the use of gated spillways is more common with concrete dams, and that the proportion of dams with gated spillways increases with the spillway capacity.

In order to extend the data of Table 1 for a more comprehensive analysis of flood control provisions for dams during construction and operation, a questionnaire was prepared and sent to all members of the Committee on Cost of Dams, representing a total of 21 countries. With this survey it was felt that sufficient data would be available to draw conclusions applicable to future dam projects. Each country was requested to provide information on the greatest possible number of dams for which reliable data was available. A copy of the questionnaire is included in Appendix I.

### 2.2. RESPONSES TO THE SURVEY

Of the 21 countries to whom the survey was sent, responses were received from only eight countries with a total of 306 dams. Table 2 lists the countries that sent information.



Table 1 - Tableau 1

Dams completed between 1983 and 1986 (excluding China)  
 Type of spillway and capacity  
 Barrages achevés entre 1983 et 1986 (à l'exclusion de la Chine)  
 Type et capacité de l'évacuateur de crue

TE Earth - Terre  
 ER Rockfill - Enrochement  
 PG Gravity - Poids  
 VA Arch - Voûte

L Spillway without gates/Évacuateur à seuil libre  
 V Spillway with gates/Évacuateur avec vannes

HEIGHT HAUTEUR	N° OF DAMS BY TYPE NOMBRE DE BARRAGES PAR TYPE		< 100 m³/s		100 - 1 000 m³/s		1 000 - 10 000 m³/s		> 10 000 m³/s		TOTAL	
	TE	ER	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V
15-29 m	10	33	76	5	51	14	7	23	-	2	134	44
	ER		8	-	1	-	1	-	-	-	10	-
	PG		5	-	10	3	5	-	-	2	20	13
	VA	7		-	-	2	1	-	-	-	5	2
Total	228		89	5	66	19	14	31	-	4	169	29
30-59 m	109	55	21	2	41	9	19	10	1	6	82	27
	ER		12	1	23	2	8	5	1	3	44	11
	PG	44	7	-	18	4	4	11	-	-	29	15
	VA	9	1	4	2	1	1	1	-	-	6	3
Total	217		41	3	86	17	32	27	2	9	161	56
60-99 m	21	42	1	-	6	2	3	7	-	2	10	11
	ER		4	-	10	5	9	12	1	1	24	18
	PG	20	7	1	2	2	1	6	-	2	10	10
	VA	7		-	-	2	1	1	-	-	4	3
Total	90		6	-	23	11	18	26	1	5	48	42
100-149 m	6	14	-	-	1	-	-	4	-	1	1	5
	ER		-	-	4	-	4	3	2	1	10	4
	PG	4		-	-	-	1	2	-	1	1	3
	VA	3		-	-	2	-	1	-	-	2	1
Total	27		-	-	7	-	5	10	2	3	14	13
> 150 m	2	6	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1
	ER		1	-	-	-	2	2	-	1	3	3
	PG		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VA	3		-	-	-	-	2	-	-	1	2
Total	11		1	-	1	-	2	4	-	2	5	6
Total	316	127	98	25	100	25	24	44	1	12	397	176
Total V	88	36	12	7	38	7	15	22	4	5	23	397
Total L	228	91	137	18	66	19	31	44	4	2	169	176
% of V												
over total/ % de V par rapport au total	28	28		5		20		57		82		30

**Tableau 2**  
**Liste des pays ayant fourni des informations**

Pays	Nombre de barrages
Brésil	13
Grande-Bretagne	2
Corée (RPDC)	9
Maroc	9
Russie (*)	16
Espagne	210
Japon	45
Yougoslavie	2

(\*) Les informations fournies par le Comité Russe incluent des barrages situés dans l'ancienne URSS et dans quelques autres pays, tels que le Vietnam et l'Égypte.

Malheureusement, les informations reçues ne sont pas complètes et toutes les questions n'ont pas reçu de réponse.

L'Annexe II présente l'analyse des informations reçues. Cette analyse avait pour but de tirer des conclusions utiles permettant des généralisations ou recommandations susceptibles d'entraîner des économies dans les coûts de construction des barrages.

Étant donné que le nombre de barrages espagnols pour lesquels des données étaient disponibles est beaucoup plus élevé que ceux des autres pays ayant répondu à l'enquête, l'analyse présentée dans l'Annexe II comprend deux parties : l'une pour les barrages de l'Espagne, l'autre pour les barrages des autres pays (Brésil, Grande-Bretagne, Corée-RPDC, Maroc, Russie, Japon, Yougoslavie).

**Table 2**  
**List of the countries that sent information**

Country	Number of Dams
Brazil	13
Great Britain	2
Korea (DPRK)	9
Morocco	9
Russia (*)	16
Spain	210
Japan	45
Yugoslavia	2

(\*) The information supplied by the Russian Committee, includes dams situated in the former USSR, and in some other countries, such as Vietnam and Egypt.

Unfortunately, the information received is not complete. In many of the replies not all of the questions were answered.

Appendix 2 presents an analysis of the information that was received. The analysis was made with a view to seeking conclusions that might be useful and that might permit some generalizations or recommendations that could lead to savings in the construction of dams.

Taking into account that the number of Spanish dams for which information was available was much greater than those of other countries, the analysis presented in Appendix 2 was separated into two parts, one for Spanish dams and the other for dams from Brazil, Great Britain, Korea (DPRK), Morocco, Russia, Yugoslavia and Japan.

---

## 3. ANALYSE DES DONNÉES REÇUES

---

Comme indiqué précédemment, l'analyse des informations reçues figure dans l'Annexe II. Les chapitres suivants présentent les conclusions tirées de cette analyse.

### 3.1. OUVRAGES D'ÉVACUATION DÉFINITIFS

#### 3.1.1. Barrages en béton

L'analyse permet de constater que la crue de projet de période de retour 500 ans a été adoptée pour la majorité des barrages espagnols; cela résulte des normes espagnoles en vigueur jusqu'en 1994 et fixant cette seule période de retour de crue pour les projets de barrages de grande hauteur.

La plupart des évacuateurs de crue des barrages en béton analysés sont situés sur la crête du barrage ou sur l'un des appuis. Malgré le fait que les informations disponibles portent sur un nombre assez limité de barrages, on peut conclure que l'emplacement de l'évacuateur de crue sur la crête du barrage est généralement la solution la plus économique.

Pour les barrages en béton, il est également logique que les barrages équipés d'évacuateurs de crue avec vannes soient plus nombreux que ceux ayant des déversoirs à seuil libre; en effet, en ce qui concerne la sécurité du barrage, toute panne électrique ou mécanique mettant hors service une vanne conduira à une submersion sans causer en général la destruction du barrage. D'un point de vue économique, l'évacuateur de crue avec vannes est généralement une solution avantageuse.

Les informations reçues montrent que l'adoption de vannes automatiques est de moins en moins courante sur les barrages espagnols et inexistante sur les ouvrages des sept autres pays. Cela peut traduire un manque de confiance dans ces dispositifs automatiques, compte tenu de l'importance des vannes des évacuateurs de crue pour la sécurité du barrage. Lors des périodes de crue, on peut raisonnablement penser que les conditions climatiques sur le site du barrage sont souvent très défavorables et que, dans de telles conditions exceptionnelles, on ne peut compter sur un bon fonctionnement des dispositifs automatiques de contrôle.

En général, les vannes sont alimentées à partir d'au moins deux sources d'énergie et l'installation d'un groupe électrogène est courante.

En ce qui concerne la grande majorité des barrages espagnols, des travaux d'entretien sont effectués plus ou moins fréquemment sur les vannes d'évacuateurs de crue. Les informations reçues des autres pays et indiquant que 50 % seulement des évacuateurs avec vannes font l'objet d'entretiens doivent être considérées avec quelques réserves; cela peut résulter d'une mauvaise interprétation de l'enquête, puisque, s'agissant d'organes électromécaniques tels que les vannes d'évacuateurs, leur entretien doit être systématique.

---

## 3. ANALYSIS OF DATA RECEIVED

---

As previously stated, the analysis of the information received is included in Appendix II. The following sections present the conclusions that have been drawn from the analysis that was carried out.

### 3.1. SPILLWAYS AND OUTLET STRUCTURES

#### 3.1.1. Concrete dams

The reason why a flood with a return period of 1 in 500 years is found for the majority of Spanish dams is that the Spanish standard for flood design, in force until 1994, fixed this as the one to be considered for high dam projects.

The majority of spillways of the concrete dams that were analyzed are located on the crest of the dam or on one of the abutments of the dam proper. Despite the fact that the information available is based on a fairly limited number of dams, it can be concluded that the location of the spillway on the crest of the dam is usually the most economic solution.

For concrete dams, it is also logical that the number equipped with gated spillways is greater than those with uncontrolled, overflow type structures since, in terms of dam safety, any electrical or mechanical failure that could prevent gate operation would result in overtopping that would not usually cause destruction of the dam. Also, from an economic point of view, the gated spillway is usually an advantageous solution.

As can be seen in the information received, the use of automatic gates appears to be less and less usual in Spanish dams and non-existent in those of the other seven countries. This could indicate a lack of confidence in automatic controls for such an important function as the spillway gates relative to dam safety. During flood periods it is reasonable to think that weather conditions at the dam site may often be very unfavorable and that, under such extreme conditions, the proper functioning of automatic controls may be unreliable.

In general, gates are equipped with more than one source of power and the provision of a generator set is common.

Maintenance operations on spillway gates are carried out more or less frequently for the great majority of Spanish dams. The indication, based on information from other countries, that only 50 percent of spillways with gates are maintained should be taken with some reservations; it may be due to a misinterpretation of the survey since, when dealing with electro-mechanical elements such as the spillway gates, the maintenance should be done on a systematic basis.



Pour 50 % des barrages espagnols et 30 % des barrages des sept autres pays, sur lesquels des données de coût ont été fournies, le coût de l'évacuateur de crue représente plus de 10 % du coût total du barrage.

L'analyse des informations disponibles sur les coûts des évacuateurs de crue de ces barrages nécessite d'entrer dans les détails. Par exemple, dans le cas des barrages mobiles, le coût total du barrage résulte pour ainsi dire des ouvrages d'évacuation. Par contre, pour un barrage-voûte avec une fondation de bonne qualité, permettant l'implantation de l'évacuateur de crue sur la crête de l'ouvrage, le coût de l'évacuateur par rapport au coût total du barrage peut être faible, en particulier s'il s'agit d'un barrage de hauteur relativement élevée, ayant un petit bassin versant où les débits de crue sont également faibles.

Si l'on résume les informations fournies sur les modifications apportées aux ouvrages d'évacuation des barrages en béton, on peut indiquer que le plus souvent ces modifications comprennent des rénovations de matériel (vannes de vidange de fond, par exemple), ou des changements dans l'exploitation de la retenue conduisant à de faibles modifications du niveau maximal de retenue et, par suite, à de légères augmentations de la hauteur des vannes de l'évacuateur de crue. D'autres cas concernent des modifications rendues nécessaires par suite d'erreurs dans la conception des ouvrages d'évacuation.

En général, pour les barrages en béton (types poids et voûte) on peut estimer que le coût des ouvrages d'évacuation (évacuateur de crue et vidange de fond) ne dépasse pas 10 % du coût total du barrage, à l'exclusion des coûts des études techniques et des intérêts pendant la construction.

Lorsque l'évacuateur de crue représente 30 à 40 % du coût total du barrage, il s'agit généralement de barrages-poids pouvant être considérés comme des barrages mobiles, c'est-à-dire où les vannes de l'évacuateur de crue contrôlent au moins 30 % de la profondeur totale de la retenue.

À partir des informations reçues, le coût de l'entretien préventif des ouvrages d'évacuation peut être estimé à environ 300 hommes-heures par an, représentant une dépense, y compris le petit matériel, de 15 000 \$ US.

### **3.1.2. Barrages en remblai**

Pour la plupart des barrages en remblai, l'évacuateur de crue est situé sur l'un des appuis du barrage, ou en un point bas sur le pourtour de la retenue (ouvrage de col), où les débits de crue peuvent être évacués en toute sécurité vers le lit de la rivière à l'aval. Une autre solution consiste à fonder l'ouvrage d'évacuation dans le lit même de la rivière.

À partir des informations fournies sur les barrages d'Espagne et des autres pays, les observations générales suivantes peuvent être faites : le coût des évacuateurs de crue revêt une grande importance dans les projets comportant des barrages en remblai; il y a peu d'expérience acquise sur les évacuateurs du type « digue fusible »; des groupes électrogènes font défaut sur de nombreux barrages.

For 50 percent of Spanish dams for which cost data was received and in 30 percent of dams from the other seven countries, the cost of the spillway is more than 10 percent of the total cost.

In analyzing the information available on spillway costs for these dams it is necessary to go into detail since, for example, in barrage-type structures practically all the dam cost is attributable to the spillway works. On the other hand, for an arch dam with a good foundation so that the spillway can be located on the dam crest, the cost of the spillway relative to the total cost of the dam may be very small, particularly if it is a case of a relatively high dam with a small drainage basin where the flood flows are also small.

Summarizing information received concerning modifications that have been made to outlet structures of concrete dams, it can be said that in most cases the modifications referred to concern refurbishing of equipment (bottom outlet valves, for example), or to changes in the reservoir operation that introduce small changes in the maximum reservoir level which, in turn, require small increases in the height of the spillway gates. Some other cases involve corrections to design deficiencies in the outlet works.

In general, for concrete dams, including both gravity and arch types, the cost of outlet works (spillway and bottom outlets) can be estimated as not exceeding 10 percent of the total cost of the works, excluding interest during construction and engineering costs

Cases where the spillway represents from 30 to 40 percent of the total cost of the dam are generally those where gravity dams can be considered barrages, i.e. where the spillway gates control at least 30 percent of the total depth of the reservoir.

On the basis of the information received, preventative maintenance costs for outlet works can be estimated as some 300 man-hours per year at a cost, including small material, of 15 000 US\$.

### **3.1.2. Embankment dams**

For the majority of embankment dams the spillway is located either on one of the dam abutments or in a low point on the reservoir rim (saddle valley) where flood discharges can safely and efficiently be returned to the river channel downstream. Alternatively, a concrete spillway structure may be founded in the river channel proper.

On the basis of the information received, both on Spanish dams and those of the other countries reporting, the following general observations can be made: the cost implications of spillways in projects with embankment dams is high; there is little documented experience with fuse-plug type spillways; and the lack of generating sets stands out at many dams.

Le dernier fait mérite d'être signalé, en particulier si l'on tient compte du coût relativement bas et de la grande sécurité fournie par un groupe électrogène pour le fonctionnement des vannes, à condition, bien entendu, que ce dispositif soit bien entretenu (mise en marche, chaque semaine, pour vérifier qu'il est en bon état de fonctionnement et que la réserve de carburant est suffisante pour l'ouverture des vannes).

Il faut souligner que les conditions climatiques sont généralement très rudes au cours des périodes de crue, de sorte que du personnel doit être présent sur le barrage pour surveiller les niveaux de la retenue, manoeuvrer les vannes (le cas échéant, avec l'aide d'un groupe électrogène) et s'assurer que les vannes s'ouvrent. L'entretien et la garantie du bon fonctionnement des vannes d'un évacuateur de crue sont essentiels pour la sécurité du barrage et ne doivent faire l'objet d'aucune réduction de budget. Ainsi, il est généralement admis que, pendant les périodes de crue, la fiabilité des dispositifs de télémétrie et de télécommande ne peut être garantie et qu'une source indépendante d'énergie pour le fonctionnement des vannes doit être disponible.

Lors des études économiques relatives au choix du type de barrage, il est important de considérer qu'un évacuateur de crue avec vannes nécessite une source d'énergie fiable, un accès sûr et la présence de personnel d'exploitation et d'entretien sur le site du barrage pendant les périodes de crue. Par contre, un déversoir à seuil libre évite ou réduit considérablement les coûts d'exploitation et d'entretien, mais augmente le coût de construction correspondant à la surélévation du barrage nécessaire pour obtenir le même volume de réserve utile. Pour une comparaison objective des diverses solutions, il est donc très important d'inclure, en plus des coûts de construction, la valeur capitalisée des coûts annuels d'exploitation.

L'Annexe IV présente un certain nombre d'exemples de coûts annuels d'exploitation et d'entretien d'évacuateurs de crue équipés de vannes. Ces renseignements, adaptés aux conditions particulières de chaque ouvrage, peuvent être utiles pour les nouveaux projets.

Très peu d'informations ont été fournies sur des modifications d'évacuateurs de barrages en remblai; seule a été signalée une augmentation de la capacité d'un évacuateur de crue par construction d'un nouvel évacuateur, cela résultant d'une étude hydrologique plus complète. Cependant, il existe dans le monde de nombreux barrages ayant des évacuateurs sous-dimensionnés par rapport aux capacités qui seraient maintenant exigées; le fait que ce problème n'a été signalé que pour un barrage dans les réponses reçues ne peut pas être considéré comme représentatif de la situation générale.

Une analyse détaillée des informations fournies sur des barrages en remblai permet de déduire qu'en général le coût des ouvrages d'évacuation représente entre 15 et 30 % du coût total du barrage, à l'exclusion des coûts des études techniques et des intérêts pendant la construction. En ce qui concerne les coûts d'entretien, les informations disponibles laissent apparaître que le nombre d'hommes-heures par an et le coût sont identiques à ceux correspondant aux barrages en béton, ce qui est tout à fait logique.

The latter fact is significant, particularly if one takes into account the relatively low cost and the great security obtained by providing a generating set capable of operating the gates, providing it is properly maintained (weekly start-up to ensure it is in good operating condition and that the fuel supply is adequate for opening the gates).

It should be emphasized that climatic conditions are usually adverse during flood events, so there should be personnel present at the dam who can monitor reservoir levels, operate the gates (if necessary with the help of a generating set) and make sure the gates really open. The maintenance and guarantee of spillway gate function is a fundamental issue for the safety of the dam and one for which there should be no budget reduction. Thus it is generally accepted that during flood periods the reliability of telemetering and telecommand systems can not be assumed, and that an independent power source for gate operations should be available.

An important factor to be taken into account in economic studies of dam alternatives is that a gated spillway requires a reliable power supply, guaranteed access and the availability of maintenance staff at the damsite during flood periods while an ungated spillway avoids or considerably reduces operating and maintenance costs, but increase the construction cost corresponding to the raising of the dam, necessary to provide the same active storage capacity. For a realistic comparison of alternative solutions it is therefore very important to include, in addition to construction costs, the capitalized value of annual operating costs.

Appendix IV presents a number of examples of the annual operating and maintenance costs of gated spillways. Those provide an indication of what these costs could represent and could be useful, when adjusted to the particular conditions of each case, in studies for new projects.

With reference to the very limited information that was received on changes to outlet works for embankment dams, there was only one case where the spillway capacity was increased, constructing a new one as the result of a more complete hydrological study. Nevertheless, there are many dams in the world having discharge works dimensioned for capacities that are less than those that would now be required; the fact that this problem was mentioned for only one dam, among those for which information was received, should not be taken as representative of the general situation.

From a detailed analysis of the information received on embankment dams one can deduce that, in general, the cost of the outlet works represents between 15 and 30 percent of the total cost of the dam, excluding interest on construction and engineering costs. With regard to maintenance costs, based on the available information it seems that the number of man-hours per year, and the cost, is similar to that for concrete dams with gated spillways, a situation which is quite logical.

## **3.2. OUVRAGES DE DÉRIVATION PROVISOIRE**

### **3.2.1. Barrages en béton**

Dans un grand nombre des cas signalés, la dérivation de la rivière a été réalisée au moyen d'un batardeau et d'une galerie, mais le nombre relatif de barrages où un canal de dérivation a été utilisé a augmenté pour les ouvrages espagnols construits après 1980. Une raison pouvant justifier l'adoption de canaux de dérivation provisoire au cours de ces dernières années est que les sites des barrages les plus récents sont moins favorables que ceux des anciens barrages, ceux-ci ayant occupé les sites les plus favorables. Parmi les conditions rendant un site favorable, il y a les caractéristiques géologiques et topographiques. Si les conditions topographiques et géologiques sont moins favorables pour la construction du barrage, elles le seront aussi pour la construction d'une galerie dans les appuis, et il peut être plus économique d'adopter la construction plus compliquée d'un canal de dérivation provisoire sur le site.

Pour résumer les informations disponibles sur les barrages en béton, on peut indiquer que les dérivations provisoires au moyen de batardeaux et de galeries seront, en général, avantageuses à condition que les conditions topographiques et géologiques soient favorables.

Le coût des ouvrages de dérivation provisoire peut être estimé à environ 3 ou 4 % du coût total des travaux. Bien entendu, il y a de nombreuses exceptions à cette règle, car chaque barrage est un prototype avec ses propres conditions et caractéristiques qui le rendent « unique ».

### **3.2.2. Barrages en remblai**

En ce qui concerne les types d'ouvrages de dérivation provisoire utilisés, on peut constater que le dispositif « batardeau et galerie » prédomine, suivi par le dispositif « batardeau et canal ».

Il faut reconnaître que, dans le cas d'un barrage en remblai, un canal traversant la zone du chantier pose plus de problèmes que dans le cas d'un barrage en béton (comparativement à un barrage en remblai, il est généralement plus facile de laisser un pertuis à travers un barrage en béton et de le fermer lorsque la construction du barrage est terminée); il en résulte que les galeries de dérivation ont été le plus souvent utilisées dans les barrages en remblai mis en service depuis 1980.

En ce qui concerne les coûts, les informations sont très limitées pour les barrages en remblai construits avant 1980; pour ceux achevés après 1980, il y a une large plage de résultats. Cependant, il semble que le coût relatif des ouvrages de dérivation par rapport au coût total du barrage soit plus grand pour les barrages en remblai que pour les barrages en béton. Cela peut traduire la plus grande vulnérabilité des barrages en remblai en cas de sous-dimensionnement des ouvrages de dérivation, les travaux de construction pouvant être sérieusement affectés et les coûts fortement augmentés si des mesures adéquates ne sont pas prises.

## **3.2. TEMPORARY RIVER DIVERSION**

### **3.2.1. Concrete dams**

In a great number of cases for which information is available diversion has been carried out with a cofferdam and tunnel but the relative number using a diversion channel has increased for Spanish dams constructed after 1980. One reason that could justify the use of channels for temporary river diversion in recent years is the fact that the sites of the most recent dams must be less favourable than those of dams constructed in earlier years, assuming that the earlier dams occupy the most favourable sites. Among the conditions that make a damsite most favourable are their geological and topographical characteristics; if topographic and geological conditions are less favourable for dam construction, they will also be less favourable for the construction of a tunnel in the abutments, which may make it more economical to accept the more complicated construction that is involved with a temporary channel on the site.

As a summary of the information available on concrete dams, it may be said that the type of river diversion works involving a tunnel and cofferdams will generally be advantageous, providing that topographic and geological conditions are favourable.

The cost of temporary river diversion can generally be estimated to be of the order of three or four percent of the total works. Naturally there are many exceptions to this rule since each dam is a prototype with its own particular characteristics and conditions which make it "unique".

### **3.2.2. Embankment dams**

Regarding the type of temporary diversion works used, it can be seen that cofferdam and tunnel schemes predominate, followed by cofferdam and channel arrangements.

The fact that with an embankment dam a channel that crosses the work site causes more problems than in a concrete dam (in a concrete dam it is usually easier than with an embankment dam to leave an opening that crosses the dam and to close it when the dam is finished) has resulted in the more frequent use of tunnels for diversion in dams which have come into service since 1980.

With regard to costs, information on dams before 1980 is very limited and for those completed since 1980 there is a wide range of results. Nevertheless, it seems to show a greater relative cost for river diversion works for embankment dams compared to the total cost of the dam, than that for concrete dams. This may reflect the greater vulnerability of embankment dams to a lack of diversion capacity which, if adequate precautions are not taken, can seriously affect the works during the construction phase and lead to important cost increases.

---

## 4. MAÎTRISE DES CRUES EN COURS D'EXPLOITATION DES BARRAGES

---

### 4.1. COÛT DES ÉVACUATEURS DE CRUE ET SÉCURITÉ

Comme déjà indiqué, 40 % environ des ruptures de barrages qui se sont produites depuis 1950 ont eu pour cause une insuffisance de la capacité des évacuateurs de crue, ayant conduit à une submersion du barrage.

Le coût de l'évacuateur de crue par rapport au coût total du barrage, non compris les coûts afférents aux études techniques et aux intérêts, peut être estimé à 10 % pour les barrages en béton et à 15-30 % pour les barrages en remblai.

Il est clair que les coûts relatifs des ouvrages d'évacuation (de 10 à 30 %) sont, en général, nettement inférieurs à leur influence sur le nombre de ruptures de barrages enregistrées depuis 1950 (40 %, à l'exclusion de la Chine). Cela pourrait indiquer que l'investissement total dans la construction du barrage est mal réparti entre les divers éléments de l'ouvrage, du point de vue de la sécurité du barrage.

Tout d'abord, il apparaît que le pourcentage du coût total du barrage affecté aux ouvrages d'évacuation devrait être plus élevé aux dépens des autres éléments intervenant dans le coût total du barrage. En bref, le coût total restant le même, la réduction du coût de quelques éléments du barrage et l'augmentation de celui des ouvrages d'évacuation, c'est-à-dire l'amélioration du dispositif de maîtrise des crues, peuvent augmenter la sécurité. Toutefois, cette prémisse est sujette à caution, car le coût de l'entretien de l'évacuateur de crue n'est pas compris dans le coût de construction. La capitalisation du coût annuel d'entretien, pouvant être élevée pour un évacuateur vanné, augmentera probablement le coût relatif de l'évacuateur par rapport au coût total du barrage.

Ce qui apparaît clairement est l'insuffisance de la capacité d'évacuation d'un barrage comme cause majeure des accidents survenus depuis 1950.

L'examen du problème de la maîtrise des crues, dans le contexte de ce Bulletin, c'est-à-dire en relation avec les coûts impliqués, conduit à poser deux questions : quelle doit être la crue de projet pour un site de barrage donné ? Comment évacuer cette crue au moindre coût ?

### 4.2. CRUES À CONSIDÉRER

En réponse à la première question, on peut dire qu'une multitude de crues peuvent se manifester à un site de barrage donné, chacune ayant son propre hydrogramme ou sa propre évolution dans le temps.

Le concept de débit instantané de pointe en un site donné est utile pour déterminer la capacité de l'évacuateur. Comme indiqué dans le Bulletin 82 « Choix de la crue de projet », de tels débits de pointe sont généralement déterminés au

---

## 4. FLOOD CONTROL IN OPERATING DAMS

---

### 4.1. COST OF SPILLWAYS AND SAFETY

As already noted, approximately 40 percent of dam failures experienced since 1950 are attributed to an inadequate spillway capacity, which led to overtopping of the dam.

The cost of the spillway relative to the total cost of the dam, excluding costs related to engineering and interest, can be estimated as 10 percent for concrete dams and 15 to 30 percent for embankment type dams.

It is obvious that the proportion of dam cost represented by the discharge facilities (from 10 to 30 %) is, in general, considerably less than their influence on the number of dam failures registered since 1950 (40 % without including those from China). This could indicate that the total investment in dam construction is not well distributed among the various components of the structure from the point of view of dam safety.

In principal, it would appear that the percentage of the total cost of the dam which is dedicated to the discharge elements should be greater at the expense of other elements that make up the total cost of the dam. In short, with the same total cost, reducing the cost of some components and increasing the cost of the discharge works, i.e. improving the system of flood control, could increase the safety. This premise may not be certain, however, since the cost of spillway maintenance is not included in the construction cost. Capitalizing this annual cost of maintenance, which can be fairly important for a gated spillway, would probably increase the cost of the spillway in relation to the total cost of the dam.

What seems fairly clear is the importance of insufficient dam discharge capacity as a cause of accidents that have occurred since 1950.

In dealing with flood control in the context of this Bulletin, i.e. in relation to the cost involved, two questions must be asked: what should be the design flood for a given damsite and, how can this flood be discharged at the lowest possible cost ?

### 4.2. FLOODS TO BE CONSIDERED

As a reply to the first question, a multitude of floods may occur for a given damsite, each with its own hydrograph or evolution of flow volume with time.

The concept of instantaneous peak flow that may occur for a given damsite may be useful for determining the spillway capacity. As indicated in Bulletin No 82, " Selection of Design Flood ", such peak flows are usually determined using



moyen de méthodes probabilistes donnant les divers débits de crue avec leur probabilité d'occurrence dans une année ou avec leur période de retour (c'est-à-dire le nombre d'années au cours desquelles la crue risque de se produire une seule fois). C'est ainsi que l'on fait mention de crues de 1 : 500 ans, 1 : 1 000 ans, etc. Toutefois, la seule détermination des débits instantanés, sans considérer l'évolution des débits dans le temps, ne permet pas de tenir compte de l'effet d'écrêtement de la retenue.

Par exemple, on peut dire qu'un barrage a une capacité d'évacuation, retenue pleine, équivalente au débit instantané de pointe, d'une période de retour de 500 ou 1 000 ans, mais rien de plus. Le débit de crue estimé présentera, évidemment, toutes les incertitudes liées à l'utilisation de méthodes statistiques de calcul des crues, résultant généralement de l'extrapolation de séries relativement limitées d'observations (en général, moins de 100 années).

À partir d'observations pluviométriques, d'études météorologiques de l'intensité des pluies, et de modèles de transformation pluie-débit, des méthodes hydrométéorologiques peuvent être utilisées pour déterminer les hydrogrammes de crue au site du barrage.

La détermination de la pluie maximale probable (PMP) permet de calculer la crue maximale probable (PMF) pouvant être considérée comme la limite supérieure de la crue susceptible de se produire au barrage.

Il n'y a pas de critère unique utilisé dans tous les pays pour déterminer la crue maximale au site d'un barrage, mais, suivant le degré de risque, c'est-à-dire le niveau de dommages accepté par la société, deux types de crue seront définis :

1) La crue de projet, qui est celle utilisée pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation, c'est-à-dire celle pouvant être évacuée par les ouvrages en bon état de fonctionnement.

2) La crue de sécurité, qui est celle que le barrage peut supporter dans des conditions exceptionnelles, quelques dommages et une réduction des coefficients de sécurité étant acceptés, à l'exclusion de la rupture du barrage.

Bien entendu, la détermination, pour chaque barrage, des valeurs de ces deux types de crue revêt une grande importance, en termes de sécurité et de coût.

La détermination de la crue de projet et de la crue de sécurité – débits instantanés et hydrogrammes de crue – n'est pas l'objet du présent Bulletin. Comme indiqué précédemment, le Bulletin CIGB n° 82 traite de la technique actuelle dans ce domaine et donne des recommandations à ce propos.

Des règlements existent également dans de nombreux pays, précisant quelles crues doivent être prises en compte et quelles études doivent être effectuées pour la détermination des crues. En général, ces démarches sont basées sur le risque que l'on peut admettre ou que la société est disposée à accepter.

En ce qui concerne la première question concernant le choix de la crue pour un site de barrage, on peut dire, de façon simplifiée, qu'une « crue de projet » a été déterminée pour la conception des ouvrages d'évacuation. La crue de projet peut

probabilistic methods that relate various flow volumes with the probability that they will occur in a given year or with their return period (i.e. the number of years necessary for the flood to occur one time). Thus floods are referred to as 1:500 years, 1:1 000 years, etc. However, defining only instantaneous flows, without considering the flow distribution with time, does not allow the routing effect of the reservoir to be taken into account.

One can say, for example, that a dam has a discharge capacity, with a full reservoir, equivalent to the instantaneous peak volume of flow that could occur with a return period of 500 or 1 000 years, but nothing more. Evidently, this estimated volume of flow will have all the uncertainties arising from the use of statistical procedures of flood calculations, derived in general from the extrapolation of a relatively limited series of observations (generally less than 100 years).

On the basis of rainfall observations, meteorological studies of the intensity of rainfall and using models for the transformation of rain-runoff, hydrometeorological methods can be used to deduce flood hydrographs that could occur at the damsite.

With the determination of the probable maximum precipitation (PMP) one can calculate the probable maximum flood (PMF) that can be considered as the upper limit of flooding that could affect the dam.

There is no single criterion used in all countries to determine the maximum flood that can occur for a damsite but, in accordance with risks accepted by society as a function of the damages that might be caused by dam failure, two types of floods should be established:

1) Design Flood, which is the flood used to establish the size of the outlet elements, i.e. which can be discharged with a proper functioning of the outlet works.

2) Extreme Flood (Safety check flood), which is the flood that the dam can withstand under extreme conditions, accepting some damage and a reduction in safety factors but without causing dam failure.

Obviously, the problem of determining for each dam the design values to be used for each of these two types of flood is of great importance, both in terms of safety and of cost.

Flood determination for both the Design Flood and the Extreme Flood, which in addition to instantaneous flow quantities takes into account flood hydrographs, is not the object of this Bulletin. As previously mentioned, ICOLD Bulletin No 82 reviews the " state of the art " on this subject and provides a series of recommendations to be taken into account in flood determination.

Regulations also exist in many countries that establish which floods should be considered or what studies should be carried out for flood determination. In general, these are based on the risk that can be assumed or which society is prepared to accept.

Summarizing with respect to the first question regarding the flood to be considered for a given damsite, it can be taken that a «Design Flood» has been determined that has served to design the outlet works. The Design Flood can be

être évacuée par ces ouvrages dans des conditions normales d'exploitation. À titre d'exemple et sans songer à proposer des valeurs absolues, cette crue peut être représentée par l'hydrogramme d'une crue ayant une période de retour de 500 à 1 000 ans. L'hydrogramme sera établi au moyen de méthodes hydrométéorologiques et aura un débit instantané de pointe défini par des méthodes statistiques pour une période de retour de 500 à 1 000 ans.

Une « crue de sécurité » peut aussi être déterminée ; c'est celle évacuée par le barrage, mais en admettant un mauvais fonctionnement des ouvrages d'évacuation et des coefficients de sécurité réduits (par exemple, avec une retenue au-dessus du niveau normal des plus hautes eaux, réduisant la revanche, etc.). À titre d'exemple et sans intention de donner des recommandations particulières, la crue de sécurité peut être déterminée à partir de l'hydrogramme, défini par des méthodes hydrométéorologiques pour une période de retour de 5 000 à 10 000 ans, avec un débit instantané de pointe calculé par des méthodes probabilistes pour une période de retour de 5 000 à 10 000 ans, ou pris égal à la PMF.

Il est évident que la détermination de ces crues ne dépend pas uniquement des caractéristiques du barrage. Suivant une tendance de plus en plus acceptée à travers le monde, il importe de tenir compte des dommages qu'une rupture du barrage est susceptible de causer à l'aval. Ainsi, la valeur adoptée pour la crue de sécurité dépend autant ou plus de la situation à l'aval du barrage que du barrage lui-même.

La crue de sécurité peut être choisie au moyen d'une analyse de risque par incréments. Dans cette analyse, on déterminera le profil d'écoulement à l'aval, avec et sans rupture du barrage, dans diverses conditions de débit.

Généralement, la crue de sécurité est le débit de période de retour de 5 000 à 10 000 ans, ou bien la PMF. Cependant, si une analyse de risque par incréments, avec des débits inférieurs à ceux sus-mentionnés (par exemple, avec des débits de 0,5 ou 0,75 PMF, ou des débits de période de retour de 3 000 à 5 000 ans), montre qu'il n'y a pas augmentation des pertes en vies humaines ou des dommages aux biens en cas de rupture simultanée du barrage, la valeur de ce débit peut être adoptée comme crue de sécurité. Par exemple, si une retenue a une petite capacité de stockage et un très grand bassin versant, et que la rupture n'augmente donc pas considérablement le volume correspondant à l'hydrogramme de crue naturelle, il est probable que la submersion à l'aval sera à peu près la même avec ou sans rupture du barrage. Pour plus d'informations, on pourra se reporter au document «Recommandations Fédérales relatives au choix et à la maîtrise de la crue de projet pour les barrages (projet 1995), États-Unis». Même dans un tel cas, le maître d'ouvrage peut faire face aux problèmes judiciaires causés par la rupture du barrage.

### **4.3. ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ D'EXPLOITATION DES BARRAGES EN PÉRIODE DE CRUE**

Lorsqu'un nouveau barrage est projeté, les hydrogrammes correspondant à la crue de projet et à la crue de sécurité peuvent être préalablement établis, et le barrage et ses ouvrages d'évacuation conçus de façon qu'ils puissent évacuer les deux types de crue dans les conditions mentionnées.

Pour les barrages en service, le problème est différent. Il est nécessaire d'évaluer le niveau de sécurité du barrage vis-à-vis des crues, et de vérifier s'il est

discharged by these outlet works under normal operating conditions. Strictly as an example and without intending to propose absolute values, this flood could be represented by a hydrograph of a flood having a recurrence of 500 to 1 000 years. The hydrograph would be established by hydrometeorological methods and would have an instantaneous peak flow determined by statistical methods for a return period of 500 to 1 000 years.

An «Extreme Flood» (Safety check flood) can also be established, that can be discharged by the dam, but allowing for incorrect operation of the outlet works and reduced factors of safety (for example, with the reservoir above its normal maximum level which reduces freeboard) etc. As an example of this approach, and again without intending to provide specific guidelines, the extreme flood could be determined from the hydrograph, determined by hydrometeorological methods for a return period of 5 000 to 10 000 years, with an instantaneous peak flow calculated by probabilistic methods for a return period of 5 000 to 10 000 years, or else the PMF.

It is evident that the determination of these floods does not depend solely on the characteristics of the dam. Following a tendency that is becoming accepted all over the world, the damages that an eventual dam failure could produce downstream must be very much taken into account. Thus, the value adopted for the extreme flood depends as much or more on what is downstream of the dam than on the dam itself

The extreme flood for a project may be selected with an incremental hazard evaluation. In this evaluation must be determined the downstream water surface with dam failure and without dam failure for several inflow conditions.

Normally, the extreme flood is the flow with a return period of 5 000 to 10 000 years or else the PMF, but if it is developed an incremental hazard evaluation with inflows with values lesser than those before mentioned, for example, 0.5 or 0.75 PMF, or inflows with return period of 3 000 to 5 000 years, and there are no significant incremental increase in the threat to life or property resulting from the occurrence of a dam failure simultaneously, the value of this inflow may be accepted for the extreme flood. For example, if an impoundment has a small storage volume and a very large drainage basin and failure would not add appreciably to the volume of the outflow flood hydrograph, it is likely that downstream inundation would be essentially the same with or without failure of the dam. (More information in "Federal guidelines for selecting and accommodating inflow design floods for dams (draft 1995) U.S.A. "). Even in such a case the owner may, however, face legal problems caused by the dam failure.

#### **4.3. EVALUATION OF THE SAFETY OF OPERATING DAMS UNDER FLOOD CONDITIONS**

Obviously, when a new dam is planned, the hydrographs corresponding to the Design Flood and the Extreme Flood can be previously established and the dam and its outlet works designed so that they can discharge both types of flood under the conditions that have been mentioned.

In the case of existing dams that are being operated the problem is different. It is necessary to evaluate the safety rating of the dam under flood conditions and to

adéquat ou s'il y a lieu de mettre en oeuvre des mesures correctives pour améliorer la sécurité.

En outre, dans les pays ou régions où il y a de nombreux barrages anciens en exploitation, il est nécessaire d'évaluer la sécurité de chacun d'entre eux vis-à-vis des crues et de déterminer des priorités de façon que, compte tenu des dommages potentiels associés à la rupture du barrage, les investissements requis pour améliorer la sécurité soient affectés en premier lieu aux barrages dont la situation est la plus critique.

Dans le cas d'un barrage en service, le niveau des plus hautes eaux de la retenue correspond au niveau, en période de crue, sous lequel les ouvrages permettent d'évacuer la crue maximale et pour lequel le barrage a été conçu et calculé. Pour le projet d'un nouveau barrage, cette crue correspond à la crue de projet, mais pour plusieurs barrages actuellement en service la capacité d'évacuation disponible sous ce niveau des plus hautes eaux sera nettement inférieure, car les données hydrologiques et les méthodes de calcul des crues actuellement disponibles n'étaient pas connues à l'époque de la conception du barrage.

Pour déterminer la crue maximale à laquelle le barrage peut faire face dans des conditions d'exploitation exceptionnelles, c'est-à-dire en acceptant quelques dégâts et des coefficients de sécurité réduits, mais sans rupture de l'ouvrage, il est nécessaire de définir le niveau des plus hautes eaux que la retenue peut atteindre dans ces conditions exceptionnelles. Le « niveau maximal admissible » est défini comme le niveau que la retenue peut atteindre sans causer la rupture du barrage, totale ou partielle, les dommages à l'aval, en cas de dépassement de ce niveau, étant plus importants que ceux causés par la même crue sans présence du barrage.

C'est ainsi que, dans le cas de la submersion d'un barrage en enrochement, ce niveau limitera l'épaisseur de la nappe déversante sur la crête de façon que le barrage puisse supporter ce déversement. Dans le cas d'un barrage-poids, le niveau exceptionnel sera celui pour lequel la pression hydrostatique sur le barrage et les sous-pressions en fondation ne compromettent pas la stabilité de l'ouvrage au renversement et au glissement.

Pour évaluer le niveau de sécurité d'un barrage vis-à-vis des crues, on peut donc procéder de la manière suivante :

1) Détermination, pour le barrage, du «niveau maximal admissible» précisé ci-dessus. Le niveau des plus hautes eaux de la retenue, en temps de crue, est un niveau connu, défini lors du projet du barrage.

2) Détermination de la crue de projet et de la crue de sécurité, de la même façon que pour un nouveau barrage, mais avec l'avantage de pouvoir tenir compte de toutes les crues enregistrées au cours de l'exploitation du barrage.

3) En considérant les conditions normales d'exploitation (variation du niveau de la retenue dans l'année), on évaluera la variation du niveau de la retenue dans le temps pour les hydrogrammes correspondant aux crues de projet et de sécurité. Si les niveaux en résultant ne dépassent pas respectivement le niveau normal des plus hautes eaux de la retenue et le niveau maximal admissible, calculés en 1), la sécurité du barrage est totalement acceptable vis-à-vis de l'évacuation des crues.

4) Si l'un de ces niveaux est dépassé dans la simulation mathématique de la crue, divers hydrogrammes réduits seront étudiés, c'est-à-dire que les débits horaires

decide if it is adequate, or if it is necessary to undertake corrective measures in order to improve the safety.

Furthermore, in countries or regions where there are many older dams in operation, it is necessary to evaluate the safety of each one of them under flood conditions and to establish priorities so that, taking into account also the potential damages associated with dam failure, the investments required to improve safety will begin with those dams that are in the most critical situation.

For an operating dam, the maximum level of the reservoir under flood conditions is the level that should be reached for the outlet works to discharge the maximum flood for which the dam was originally designed. For the design of a new dam this flood corresponds to what has been defined as the Design Flood, but for many dams that are presently operating the available capacity at this maximum level will be considerably less since the hydrological information and flood calculation methods now in use were not available at the time the dam was designed.

To determine the maximum flood that the dam can withstand under extreme operating conditions, i.e. accepting some damage and reduced factors of safety but without failure of the structure, it is necessary to establish the maximum level that the reservoir can reach under these extreme conditions. The «maximum permissible level» is defined as that level that the reservoir can reach without causing failure of the dam, either total or partial, and such that the damages downstream if this level were exceeded would be greater than those caused by the same flood if the dam had not been constructed.

As an example, in the event of overtopping of a rockfill dam, this level would limit the depth of the flow nappe over the crest such that the dam could withstand it. For a gravity dam, the critical level could also be defined as that for which the hydrostatic pressure on the dam, combined with uplift forces in the foundation, are at equilibrium for cases of overturning or sliding.

Thus, to establish the safety rating of a dam against flooding one can proceed as follows:

- 1) Determine for the dam the «maximum permissible level» as defined above. The maximum reservoir level during flooding is a known level which has been defined in the design of the dam.

- 2) Determine the Design and Extreme Floods, in the same way as for a new dam but with the advantage of being able to include the records of all floods experienced during the operating life of the dam.

- 3) Using normal operating conditions (reservoir levels corresponding to the time of year), evaluate the change of reservoir level with time for hydrographs corresponding to the Design and Extreme floods. If the resulting levels do not exceed respectively the maximum normal reservoir level and the maximum permissible level, as calculated in 1), the dam safety is completely satisfactory in terms of its flood discharge capability.

- 4) In the event that either of these levels is exceeded in the mathematical simulation of the flood, various reduced hydrographs should be tried, i.e. the hourly

seront multipliés par une série de nombres inférieurs à l'unité (0,9 ; 0,8 ; 0,7, etc.) ; la même simulation d'évacuation sera répétée pour chaque crue jusqu'à ce que, pour l'un des hydrogrammes réduits, le niveau maximal de retenue atteint corresponde au niveau normal des plus hautes eaux pour la crue de projet (dans ce cas, la crue de projet réduite) et au niveau maximal admissible pour la crue de sécurité réduite. Pour un barrage donné, il y aura donc deux coefficients de réduction : l'un correspondant à la crue de sécurité à laquelle peut faire face le barrage sans rupture, l'autre à la crue de projet qui peut être évacuée en toute sécurité, dans les conditions d'exploitation normales, sans dommages à l'ouvrage.

5) Pour un coefficient égal à l'unité, la sécurité du barrage vis-à-vis des crues peut être considérée comme satisfaisante. Pour des coefficients inférieurs à l'unité, la sécurité du barrage n'est pas assurée, et plus le coefficient correspondant à la crue de sécurité sera petit, plus la sécurité du barrage sera précaire.

De cette façon, des priorités peuvent être définies, de manière logique, pour les investissements destinés à assurer la sécurité des barrages vis-à-vis des crues dans un pays ou une région donné, en tenant compte également des dommages susceptibles d'être causés à l'aval par une rupture éventuelle ou un mauvais fonctionnement du barrage et de ses ouvrages d'évacuation.

#### **4.4. MAÎTRISE DE LA CRUE DE PROJET**

Comme précédemment indiqué, la crue de projet est une crue représentée par un ou plusieurs hydrogrammes, avec un débit de pointe correspondant à une période de retour convenable (par exemple, 1 : 500 ans ou 1 : 1 000 ans) ; cette crue est adoptée pour la conception et le dimensionnement des ouvrages d'évacuation dans des conditions normales de fonctionnement, c'est-à-dire que le comportement structural et hydraulique de ces ouvrages devra être entièrement satisfaisant au cours de l'évacuation de cette crue.

Les facteurs influant sur le coût et la sécurité des évacuateurs de crue sont examinés dans les chapitres suivants.

##### **4.4.1. Évacuateurs de fond ou évacuateurs de surface**

En général, les évacuateurs de crue de surface sont plus sûrs pour les raisons suivantes :

- Les évacuateurs de surface sont plus sensibles aux variations du niveau de retenue que les évacuateurs de fond. Pour une augmentation donnée du niveau de retenue, l'augmentation de la capacité d'évacuation d'un ouvrage de surface est proportionnellement plus grande que pour un évacuateur de fond.
- Les évacuateurs de surface peuvent être équipés de vannes ou être à seuil libre, tandis que les évacuateurs de fond sont toujours équipés de vannes. En cas de mauvais fonctionnement d'une vanne, la réparation est plus facile pour le premier type d'évacuateur que pour le deuxième type.
- Le risque de ne pas pouvoir ouvrir une vanne sous charge d'eau est plus grand pour un évacuateur de fond que pour un évacuateur de surface.

flows are multiplied by a series of numbers less than unity (0.9; 0.8; 0.7 etc.) and the same discharge simulation repeated for each flood until, with one of these reduced hydrographs, the maximum reservoir level reached corresponds to the maximum normal reservoir level for the Design Flood (in this case the reduced design flood), and to the “ maximum permissible level ” for the reduced Extreme Flood. Thus, for a given dam, there will be two reduction coefficients, one corresponding to the extreme flood, which can be withstood without failure of the dam, and the other which corresponds to the project design flood which can be safely discharged under normal operating conditions without damage to the structure.

5) For a reduction coefficient of unity, the dam safety in terms of flood protection may be considered satisfactory. For coefficients less than unity the dam safety is not assured and the smaller is the coefficient corresponding to the extreme flood, the more precarious will be the safety of the dam.

In this manner priorities can be established in a logical way for the improvements required for dams to ensure safe handling of floods in a given region or country, taking also into account damages downstream that could be caused by an eventual failure or malfunctioning of the dam and its discharge works.

#### **4.4. CONTROL OF THE DESIGN FLOOD**

As previously mentioned, the design flood is a flood represented by one or several hydrographs with a peak flow corresponding to a reasonable return period, (for example 1:500 or 1:1 000 years) and which is used for the design of the discharge works under what could be considered normal conditions, i.e. the structural and hydraulic performance of the spillway works should be completely satisfactory when discharging this flood.

The following sections present a discussion of factors that affect the cost and safety of spillways:

##### **4.4.1. Bottom outlets or surface spillways**

In general, surface spillways are safer for the following reasons :

- Surface spillways are more sensitive to changes of reservoir level than bottom outlets; for a given increase in reservoir level, the increase in discharge capacity for the surface spillway is proportionally greater than for a bottom outlet.
- Surface spillways can be equipped with gates or can be ungated while bottom outlets are always equipped with gates or valves. In the event of a gate malfunction, surface spillways are always easier to repair than bottom outlet structures.
- The risk of not being able to open a gate under water load is greater for a bottom outlet than for a surface spillway.



- Dans plusieurs cas où les organes de levage sont tombés en panne, il a été possible d'ouvrir les vannes des évacuateurs de surface à l'aide de grues mobiles.
- Un facteur favorisant l'adoption d'un évacuateur de niveau bas ou de fond est la possibilité de chasser les sédiments accumulés dans la retenue ; très souvent, cet aspect revêt une grande importance. De tels évacuateurs permettent aussi d'abaisser le niveau de retenue, y compris de vider totalement la retenue.
- Outre la possibilité de vider la retenue, les évacuateurs de fond peuvent être utilisés pour contrôler la vitesse du premier remplissage. La fonction d'un évacuateur de fond devient ainsi spécifique et indépendante de celle des évacuateurs de surface.

Le nombre de barrages qui se sont rompus au cours de la première mise en eau ou de la première année d'exploitation est de l'ordre de 20 à 30 % du total des accidents connus. Cela montre que le premier remplissage est une phase délicate et importante dans la vie d'un barrage et, par conséquent, les évacuateurs de fond seront conçus pour contrôler ce premier remplissage. Cependant, dans les zones arides ou semi-arides où le volume de crue peut représenter 90 % des apports totaux annuels dans la retenue, on ne peut se permettre de perdre ce volume de crue et il est parfois nécessaire de prévoir un premier remplissage soudain et rapide. De plus, afin de contrôler un tel débit important, l'évacuateur de fond doit être surdimensionné par rapport à la normale. Il est donc nécessaire, dans les zones arides ou semi-arides, de tenir compte de la possibilité d'un remplissage «presque non contrôlé» et de prendre des coefficients de sécurité supplémentaires lors de la conception des ouvrages. Cela s'applique également aux rivières de très forts débits.

En conclusion, on peut dire que les évacuateurs de fond et les évacuateurs de surface remplissent fondamentalement des fonctions différentes et constituent ainsi des ouvrages d'évacuation complémentaires. Sauf dans des cas très particuliers, on ne doit pas les considérer comme se substituant l'un à l'autre.

#### **4.4.2. Évacuateurs de crue avec vannes et évacuateurs de crue à seuil libre**

L'adoption d'évacuateurs de crue avec vannes permet de mieux utiliser le volume de retenue disponible, mais entraîne des coûts plus élevés d'entretien et d'exploitation pour assurer le bon fonctionnement des vannes.

- En général, on peut constater une tendance (Bulletin CIGB 83) à adopter des évacuateurs de crue vannés pour les grandes retenues et les grands bassins versants. La raison est la possibilité, pour les grandes retenues, de prévoir l'arrivée des ondes de crue suffisamment à l'avance pour permettre l'exploitation des vannes, y compris le recours à des moyens exceptionnels (grues, etc.) en cas de défaillance de certaines vannes.
- Comparativement à une petite retenue, un grand réservoir conduit à une plus faible montée du niveau d'eau pour une crue donnée (meilleur écrêtement des crues). Cela permet des fonctionnements plus lents et moins fréquents des vannes.
- Il apparaît qu'en général les vannes automatiques ne sont pas utilisées ; les dispositifs automatiques entraînent des risques supplémentaires de défaillance en cours d'exploitation.

- In many cases where the lifting mechanism has failed, it has been possible to open the gates of surface spillways with the aid of mobile cranes.
- One factor that favours a low level spillway or bottom outlet is the possibility of purging accumulated sediments; in many cases this is a very important consideration. They also permit lowering of the reservoir level, including complete emptying.
- In addition to the possibility of emptying the reservoir, bottom outlets can be used to control the rate of first filling. The purpose of a bottom outlet may thus be specific and independent from that of surface spillways.

The number of dams that have failed in the course of the first filling of the reservoir or during the first year of existence can be estimated as between 20 and 30 percent of the total for all accidents for which information is available. This shows that the first filling of a dam is a sensitive and important phase in its life and, consequently, bottom discharge works should be planned in order to control this first filling. Nevertheless, in arid or semi-arid zones where flood flow may represent 90 percent of the total annual inflow to the reservoir, the luxury of losing an important part of this flow cannot be afforded and it may be necessary to plan for the first filling to be accomplished in a sudden and rapid way. Furthermore, in order to control such a large flow volume, the dimensions of a bottom outlet would have to be much larger than normal. It is therefore necessary in arid or semi-arid conditions to take into account the possibility of “almost uncontrolled” filling and to make provision elsewhere in the design for additional safety factors. This also applies to rivers with very big inflows.

In conclusion it can be said that bottom outlets and surface spillways serve fundamentally different functions and, as such, they are complementary discharge works. Except in very special situations, one should not consider substituting one for the other.

#### **4.4.2. Gated spillways and uncontrolled spillways**

The use of gated spillways permits taking better advantage of the available reservoir volume but involves additional maintenance and operating costs to ensure the proper functioning of the gates in all situations.

- In general, one can see a tendency (ICOLD Bulletin 83) for gated spillways to be used for larger reservoirs and larger drainage basins. The reason for this tendency is the possibility, with large reservoirs, of forecasting the arrival of flood waves with sufficient advance for the gates to be operated, including the recourse to exceptional means (cranes etc.) in the event of some gate failing to operate normally.
- The fact that a reservoir is large results in a slower raising of level for a given flood inflow than in a small reservoir (better regulating capacity). This allows gate operations to be slower and less frequent.
- In general it seems that automatic gates are not used; the automatic devices introduce additional possibilities of failure during operation.

- Les vannes-segment, équipées de servomoteurs, semblent être les plus adoptées pour les évacuateurs de crue.
- Les évacuateurs de crue avec vannes doivent avoir au moins deux sources d'alimentation en énergie, l'une d'elle étant autonome (groupe électrogène sur le site du barrage).
- Les évacuateurs de crue avec vannes nécessitent que l'accès du personnel technique à l'ouvrage soit garanti dans toutes conditions climatiques. Outre les interventions pour les travaux d'entretien, du personnel technique sera présent sur le site du barrage, au cours des périodes de crue, pour s'assurer du bon fonctionnement des vannes et, le cas échéant, les manœuvrer avec l'aide du groupe électrogène de secours ou, si nécessaire, en faisant appel à des moyens auxiliaires exceptionnels, tels que des grues, etc.
- Pour les sites de barrage où la présence de personnel d'exploitation ne peut être assurée dans toutes situations climatiques prévisibles, des déversoirs à seuil libre seront adoptés.
- Le choix entre un déversoir à seuil libre et un évacuateur vanné est souvent d'ordre économique. Avec un déversoir à seuil libre, une tranche du réservoir, au-dessus du niveau du seuil, permet l'amortissement des crues.

Dans le cas d'un déversoir à seuil libre, le niveau maximal de la réserve utile est limité au niveau du seuil du déversoir, mais la hauteur du barrage et les acquisitions de terrain correspondront au niveau atteint par la crue de projet.

Pour un évacuateur avec vannes, le niveau normal de retenue sera le même ou à peu près le même que le niveau atteint par la crue de projet dans le cas d'un déversoir à seuil libre. À volume égal de retenue, un barrage équipé d'ouvrages d'évacuation avec vannes aura une hauteur inférieure à celle d'un barrage avec déversoir à seuil libre et la surface du terrain submergé par la retenue sera moindre. Cela rend l'adoption de vannes de contrôle intéressante, si ce n'est indispensable, lorsqu'il est nécessaire de limiter le niveau maximal de retenue (par exemple, par suite de la présence d'une ville à l'amont).

- Lors de l'analyse des diverses solutions, il importe de comparer des solutions équivalentes, c'est-à-dire conduisant à la même réserve utile. Les coûts d'exploitation, qui sont plus élevés pour un évacuateur vanné que pour un déversoir à seuil libre, seront également pris en compte.

Pour deux solutions ayant la même réserve utile, il est donc nécessaire de comparer les coûts de construction, auxquels seront ajoutés les coûts annuels capitalisés d'exploitation et d'entretien.

- Les coûts d'exploitation et d'entretien associés aux vannes d'évacuateur comprennent :

- 1) Le coût d'entretien courant (au moins, une fois par an), incluant les coûts du personnel d'entretien, des lubrifiants, des pièces de rechange, etc.
- 2) Le coût du personnel d'exploitation présent en temps de crue.
- 3) Le coût d'entretien des sources de fourniture d'énergie électrique, incluant les lignes d'alimentation électrique, le groupe électrogène de secours, etc.

- Radial gates, equipped with servo motors seem to be most commonly used for spillways.

- Gated spillways should have at least two power sources, one of which should be autonomous, i.e. a generating set located at the dam.

- With gated spillways it is necessary to guarantee access to the structure by technical personnel in all weather conditions. In addition to access required for preventative maintenance work, technical personnel should be present during flood periods to ensure the gates are functioning properly and to operate them directly with the aid of the auxiliary generator set or, if necessary, with exceptional auxiliary means such as cranes, etc.

- On damsites where the presence of operating personnel cannot be assured in all foreseeable climatic conditions, overflow spillways without gates should be used.

- In many cases the decision to use an overflow spillway or one with gates is based on economics. With an overflow spillway without gates, a volume of the reservoir above the spillway sill level is always kept empty to provide storage for flood routing.

Obviously, for operating purposes the active storage of the reservoir is limited by the level of the spillway sill in a uncontrolled spillway, but the height of the dam and the land rights required should correspond to the level that would be reached with the design flood.

For a gated spillway, the normal operating level of the reservoir could coincide with or be very close to the level that would be reached by the design flood for the case of an overflow, ungated spillway. Thus, for an equal reservoir volume, a dam equipped with gated discharge works will be lower than one with an overflow spillway and the land area required for the reservoir will be less. This makes the use of control gates more interesting, if not essential, when there is a limit on the maximum level (for instance when there is a city upstream that could be affected by flood levels).

- When carrying out a comparison of solutions it is necessary to compare alternatives that are equivalent, i.e. which have the same active storage. Operating costs, which are greater with a gated spillway than with an overflow structure, should also be taken into account.

For two solutions having the same active storage it is therefore necessary to compare construction costs, to which should be added the capitalized annual operating and maintenance costs.

- Operating and maintenance costs that are linked to the existence of gates include the following :

- 1) Cost of routine (at least once a year) maintenance, including costs of maintenance personnel, lubricants, replacement parts, etc.

- 2) Cost of having operating personnel available during flood periods.

- 3) Cost of maintaining the electrical supply sources, including electricity supply lines, auxiliary generating set, etc.

4) Le coût d'entretien des routes d'accès pour les maintenir utilisables par tout temps, ainsi que des lignes de communications (téléphone, etc.).

- Lorsque le barrage est situé dans une région où les crues se produisent seulement à des périodes connues de l'année, une solution peut consister à adopter un évacuateur avec vannes et à les laisser totalement ouvertes au cours de ces périodes de crue probables. De cette façon, l'entretien des vannes sera plus économique ; la présence de personnel d'exploitation sur le barrage, au cours des périodes de crue, n'est plus nécessaire, puisque les vannes sont déjà complètement ouvertes, et le volume total de retenue est utilisable dans les autres périodes de l'année où il n'y a pas risque de crue. Le remplissage de la retenue peut s'effectuer à la fin de la période des hautes eaux.

- Dans le cas des évacuateurs vannés, la possibilité d'évacuer les crues, certaines vannes (une, deux, ou plus) étant bloquées, sera toujours examinée. Cela est important, spécialement pour les barrages en remblai où une certaine revanche au-dessus du sommet des vannes est généralement exigée en vue de pouvoir déverser une crue d'amplitude donnée par-dessus les vannes bloquées, sans submersion du barrage. L'amplitude de la crue à évacuer ainsi sera définie dans chaque cas.

- Dans les régions de forte sismicité, l'utilisation de déversoirs à seuil libre est recommandée, les mouvements sismiques, même de faible magnitude, risquant de bloquer les vannes dans le cas d'un évacuateur vanné. De tels mouvements peuvent ne pas être dangereux pour la sécurité du barrage proprement dit, mais sont susceptibles d'entraver le bon fonctionnement des vannes.

#### **4.4.3. Canal d'évacuation et ouvrage d'extrémité**

Le présent paragraphe examine un certain nombre de points relatifs au canal d'évacuation et à l'ouvrage aval de dissipation d'énergie. Ces considérations s'appliquent à un nombre limité de barrages dont la hauteur et le volume de crue à évacuer sont importants, c'est-à-dire à des barrages de grande hauteur situés sur de grands bassins versants où les précipitations sont fortes ; ces divers points ont déjà été traités dans le Bulletin 73 « Économies dans la construction des barrages », mais méritent d'être rappelés ici.

- L'injection d'air dans la nappe d'eau évacuée dans le canal est de plus en plus utilisée pour les vitesses élevées, afin de protéger les surfaces de béton en contact avec l'écoulement. Le faible coût de cette solution permet un certain surdimensionnement du dispositif d'injection d'air pour pallier les erreurs de calcul du débit d'air nécessaire.

- Lorsque c'est possible, il est souhaitable d'éviter les ouvrages de dissipation d'énergie à l'extrémité aval en adoptant des dispositifs du type «saut de ski». Ceux-ci permettent d'éloigner du pied du barrage l'impact du jet évacué et, dans de nombreux cas, assurent un mélange bénéfique d'air et d'eau. L'utilisation de cette solution nécessite de bonnes conditions topographiques et géologiques au site du barrage.

#### **4.5. MAÎTRISE DES CRUES DE SÉCURITÉ**

Comme indiqué précédemment, la crue de sécurité est celle que le barrage peut

4) Cost of maintaining access roads for all foreseeable weather conditions, as well as communication links (telephone, etc.)

- When the dam is located in a region where floods only occur in certain periods of the year, a solution that should be considered is to provide a gated spillway but to keep the gates completely open during those periods when floods are probable. In this way gate maintenance will be more economical; it is not necessary to have operating personnel at the dam during flood periods since the gates are already fully open and, in addition, use can be made of the full reservoir volume in other periods of the year when there is no risk of flooding. Reservoir filling can be carried out at the end of the high water period.

- With gated spillways, the possibility of passing floods with some gates blocked (one, two or more) should always be analyzed. This is important particularly in the case of embankment dams for which a certain freeboard above the top of the gates is generally required in order to be able to spill a flood of given magnitude over the blocked gates without overtopping the dam. The magnitude of flood to be passed will be determined for each case.

- In zones of high seismicity the use of overflow spillways can be recommended to avoid to the risk of seismic movements, even of small magnitude, causing a blockage of gates in a gated structure. Such movements may not be excessive in terms of the structural safety of the dam but could interfere with the proper functioning of the gates.

#### **4.4.3. Spillway channel and terminal structure**

The following section covers a number of points relating to the spillway discharge channel and downstream energy dissipation structures. These considerations are applicable to a limited number of dams where the height and volume of flood discharge are significant, i.e. high dams with large drainage basins with high rainfall, and have already been covered in ICOLD Bulletin No 73, "Savings in Dam Construction " but are considered worth repeating here.

- Air injection into the nappe in the spillway channel is being used increasingly when discharge velocities are high to protect the concrete surfaces that are in contact with the flow. The low cost of this solution allows some oversizing of the injection system to avoid errors in the calculation of the volume of air required.

- Whenever possible, it is desirable to avoid terminal energy dissipation structures by using " ski jump " features. These serve to deflect the flow downstream so that the zone of impact of the jet in the riverbed is distant from the dam foundation and, in many cases, cause a beneficial mixing of air with the water. The use of this solution requires the availability at the damsite of appropriate topographical and geological conditions.

#### **4.5. CONTROL OF EXTREME FLOODS**

As previously mentioned, the Extreme Flood is that which the dam must be

supporter dans des conditions exceptionnelles, une réduction des coefficients de sécurité et quelques dommages étant acceptés mais à l'exclusion de la rupture totale du barrage.

Les cas à considérer pour la maîtrise de la crue de sécurité sont a) les barrages existants, dont on veut assurer la sécurité pour des crues plus grandes que celles prises en compte lors du projet initial, en distinguant les barrages en béton et les barrages en remblai, et b) les nouveaux barrages où la crue de sécurité sera maîtrisée en acceptant des coefficients de sécurité réduits, mais sans destruction du barrage.

#### **4.5.1. Barrages en béton en service**

Beaucoup de barrages actuellement en service présentent une protection vis-à-vis des crues inférieure à celle qu'exigeraient les règlements et normes actuellement adoptés dans les études de projet. Il est donc nécessaire de prendre des mesures afin d'assurer que la sécurité d'exploitation de ces barrages sera équivalente à celle d'un ouvrage construit aujourd'hui. Les barrages doivent être capables de maîtriser les crues exceptionnelles considérées comme possibles, en utilisant les méthodes hydrologiques actuelles et conformément aux critères applicables à la crue de sécurité.

Les mesures suivantes peuvent être adoptées :

##### *a) Submersion*

– En général, la submersion des barrages en béton est acceptable, à condition que la fondation soit de bonne qualité.

– Dans le cas des barrages-poids, on doit tenir compte de l'effet, sur la stabilité, d'une augmentation des sous-pressions due à la montée de la retenue au-dessus du niveau normal. Avant d'accepter une submersion, des précautions seront prises, spécialement dans le cas des vieux barrages de petite hauteur.

– Pour les barrages en béton, l'augmentation du niveau de retenue nécessaire au déversement sur la crête du barrage a généralement peu d'effet sur les contraintes de compression et de traction auxquelles le barrage doit faire face.

– L'utilisation de parapets pleins sur la crête du barrage peut être préjudiciable à la sécurité d'exploitation, puisque la rupture d'un tel parapet entraînera une lame d'eau plus épaisse provoquant une augmentation soudaine et parfois dangereuse du débit d'écoulement à l'aval. Des garde-corps à claire-voie, facilitant le passage libre de l'eau sur la crête, sont recommandés.

– La route sur la crête du barrage peut constituer un obstacle au déversement dans des conditions exceptionnelles et sera prise en compte dans l'évaluation des solutions.

– Dans certains cas, il sera nécessaire de protéger le rocher de fondation, immédiatement à l'aval, contre le risque d'érosion par la lame déversante.

– L'inondation possible des terres et des bâtiments situés à l'amont, due à l'augmentation du niveau de retenue, ne représente pas, en général, un problème important. Lors de l'examen des effets d'un déversement par-dessus la crête d'un

able to withstand under extreme conditions, accepting a reduction in safety factors and some damage but without failing completely.

Cases to be considered for the evacuation of the extreme flood include: a) those of existing dams, where one wants to ensure the safety of the dam for floods greater than those considered in the original design, with appropriate allowance made for the difference between concrete and embankment construction and, b) newly constructed dams where the intent is to control this extreme event, accepting reduced factors of safety but always ensuring the dam will not be destroyed.

#### **4.5.1. Operating dams- Concrete structures**

Many dams presently in operation provide significantly less protection for flood flows than what would now be commonly used in design. It is therefore necessary to take measures that ensure that their safety of operation will be equivalent to that of a dam constructed at the present time. The dams should be capable of passing the extreme flood events that are considered possible, using current hydrological methods and in accordance with the applicable criterion for the Extreme Flood.

Measures that can be adopted include the following:

##### *a) Overtopping*

- In general, overtopping of concrete dams can be accepted, providing always that the foundation conditions are adequate.

- With gravity dams one should consider the effect on stability of an increase in uplift pressure due to the raising of the reservoir above its normal level. Precautions should be taken before accepting overtopping, especially in the case of older dams of small height.

- With concrete dams the increase in reservoir level required for spilling over the crest of the dam generally has little effect on the compressive and tensile stresses that the dam must withstand.

- The use of blind guardrails as a parapet on the crest of the dam may be prejudicial to a safe operation, since failure of the guardrail would be accompanied by the release of a flow nappe of greater depth that would cause a sudden and possibly dangerous increase in the instantaneous flow downstream. Open guardrails are recommended, that will facilitate the free passage of water over the crest.

- The roadway on the crest of the dam may represent an obstacle to spilling in extreme conditions and should be taken into account in the evaluation of solutions.

- In some cases it may be required to protect the foundation rock immediately downstream against erosion by the release of water over the crest of the dam.

- The possible flooding of land and buildings upstream due to the increase in reservoir level does not generally represent an important problem. When analyzing the effects of overtopping of operating dams this possibility should be studied,



barrage en exploitation, cette possibilité d'inondation sera étudiée, en calculant les indemnités qui seraient à verser dans le cas de submersion de terres et de propriétés non acquises préalablement.

– Le déversement sur les vannes sera prévu et des conduits d'aération installés, en cas d'absence de ceux-ci.

b) *Modification de l'exploitation de la retenue*

Dans certains cas où l'évacuateur de crue est équipé de vannes, on peut étudier la possibilité d'augmenter la capacité de maîtrise des crues au prix d'une plus grande tranche de retenue pour l'écrêtement des crues. Cela signifie que la retenue est abaissée lors des périodes de crue (par exemple, en maintenant les vannes de l'évacuateur complètement ouvertes), de sorte que la capacité de maîtrise des crues est sensiblement augmentée sans modification des ouvrages d'évacuation.

c) *Surélévation du niveau de la crête du barrage*

La capacité de l'évacuateur de crue peut être augmentée, dans certains cas, par surélévation du niveau de la crête du barrage. Cette solution ne signifie pas une surélévation du niveau maximal d'exploitation de la retenue, mais fournit une plus grande tranche de retenue pour l'écrêtement des crues. Elle peut être adoptée lorsque, pour diverses raisons, le déversement sur la crête du barrage doit être évité, ou que la capacité de l'évacuateur est très faible comparativement au débit de la crue de projet (qui n'est pas la crue de sécurité). Avant d'accepter une surélévation du barrage, il est nécessaire de vérifier qu'aucun problème de stabilité ne se posera dans les conditions de crue de sécurité et que, dans le cas contraire, des mesures correctives appropriées seront prises.

d) *Abaissement du niveau du seuil de l'évacuateur de crue*

Cette solution, appliquée seulement dans le cas de déversoirs à seuil libre, peut augmenter la capacité d'évacuation, le niveau du seuil déversant étant abaissé de un ou deux mètres et le niveau de retenue normale étant maintenu au moyen de structures gonflables ou fusibles.

e) *Amélioration de l'exploitation des vannes*

Une meilleure sécurité peut être obtenue en améliorant les conditions d'exploitation des vannes, en les équipant d'au moins deux sources d'alimentation en énergie dont un groupe électrogène de secours, en modernisant les moteurs et en perfectionnant les mécanismes, etc.

f) *Nouvelle construction*

La construction d'un nouvel évacuateur est parfois nécessaire pour assurer la capacité supplémentaire d'évacuation exigée.

#### **4.5.2. Barrages en remblai en service**

La caractéristique fondamentale qui distingue les barrages en remblai des barrages en béton, en ce qui concerne la maîtrise des crues, est leur capacité

calculating the indemnities that would have to be paid for the flooding of land and properties not previously acquired.

– The overtopping of gates should be foreseen, with provision made for aeration ducts if they do not already exist.

*b) Modification of the reservoir operation*

In certain cases, where the spillway is controlled by gates, the possibility may be studied of increasing the flood capacity at the cost of maintaining a greater reservoir volume available for flood routing. This means lowering the reservoir level during flood periods (for example keeping the spillway gates fully open), so that the flood release capacity is increased appreciably without any change to the discharge works.

*c) Raising the level of the top of the dam*

The capacity of the spillway can be increased in some cases by raising the level of the top of the dam. This solution does not mean raising of the maximum operating level of the reservoir, but provides a greater volume of reservoir storage for flood routing. It may be used when, for various reasons, spilling over the dam crest must be avoided or when the spillway capacity is very small relative to the project design flood (not the extreme flood). Before accepting an increase in dam height, it is necessary to ensure that no stability problems will result under extreme flood conditions and, if such problems should result, that appropriate corrective measures are taken.

*d) Reducing the level of the spillway sill*

This solution, simply applied with ungated spillways, can increase the discharge capacity of the dam by lowering the level of the spillway sill by one or two meters while still maintaining the normal reservoir operating level with inflatable or fusible structures.

*e) Improving gate operations*

An increase in safety can be obtained by improving the conditions under which the gates are operated, equipping them with at least two power sources of which one is a generator set, modernizing the motors and activating mechanisms, etc.

*f) New construction*

In some cases the construction of a new spillway may be necessary to satisfy the additional required discharge capacity.

#### **4.5.2. Operating dams - Embankment structures**

The fundamental characteristic that distinguishes embankment dams from concrete structures in the face of floods is their different capacity to withstand

différente à supporter une submersion. À moins que des mesures spéciales ne soient prises, la submersion d'un barrage en remblai est généralement inacceptable.

Les méthodes adoptées pour augmenter la capacité d'évacuation des barrages en remblai sont souvent identiques à celles recommandées pour les barrages en béton, mais doivent tenir compte des différences spécifiques entre les deux types d'ouvrage.

a) *Surélévation de la crête du barrage*

La surélévation du niveau de la crête du barrage, de un ou deux mètres, peut considérablement augmenter la capacité de l'évacuateur de crue et, bien que le fonctionnement hydraulique ne soit pas parfois idéal, c'est généralement une solution acceptable pour les crues peu fréquentes.

b) *Abaissement du seuil de l'évacuateur de crue*

L'abaissement du seuil de l'évacuateur, comme décrit précédemment pour les barrages en béton, est également applicable aux barrages en remblai.

c) *Augmentation de la longueur du seuil de l'évacuateur de crue - Évacuateur en labyrinthe*

La construction d'un évacuateur en labyrinthe est une méthode efficace pour augmenter la capacité d'évacuation mais, dans de nombreuses situations, est coûteuse et difficile à réaliser. Avec un évacuateur de ce type, on obtient une plus grande longueur de seuil, dans le même espace en plan, en donnant au seuil une forme dentée (généralement une série de V ou de trapèzes, au lieu d'une ligne droite ou courbe). Pour les nouveaux barrages, on peut adopter la solution «labyrinthe» lorsque les conditions topographiques et géologiques du site du barrage limitent la zone d'implantation de l'évacuateur de crue.

L'évacuateur en labyrinthe a été parfois adopté au lieu d'un déversoir rectiligne pour augmenter la capacité utile d'un réservoir. Au barrage Ute, Nouveau-Mexique, cette solution fut considérée comme plus économique et plus sûre qu'un évacuateur avec vannes.

Pour les grands évacuateurs de crue, la solution «labyrinthe» nécessite des études détaillées et des méthodes compliquées de construction. Deux intéressants rapports, R.15 et R.24, Q.59 du 15<sup>e</sup> Congrès de la CIGB, ont été présentés sur ce type d'évacuateur de crue.

d) *Modification de l'exploitation de la retenue*

Dans le cas d'un évacuateur vanné, il est possible de prendre la même mesure que celle indiquée pour les barrages en béton, en changeant les consignes d'exploitation de façon que la retenue soit maintenue à un niveau bas pendant les périodes de crue pour assurer une plus grande tranche d'écrêtement des crues.

e) *Modification du barrage pour permettre une submersion*

Pour que la submersion d'un barrage en remblai soit acceptable, même pendant de courtes périodes, il est généralement nécessaire de prendre des mesures de protection du talus aval.

overtopping. With embankment dams, unless special measures are taking, overtopping is generally unacceptable.

Methods that can be employed to increase the discharge capacity of embankment dams are, in many cases, similar to those recommended for concrete dams but taking into account specific differences between the two types.

*a) Raising the top of the dam*

Raising the level of the top of the dam by one or two meters can considerably increase the spillway capacity and, although the hydraulic performance may not be ideal, this is generally an acceptable solution for infrequent floods.

*b) Lowering the spillway sill*

Lowering the spillway sill, as previously described for concrete dams, is also applicable to embankment structures.

*c) Increasing the length of the spillway sill - Labyrinth spillways*

The construction of a labyrinth spillway is an efficient method for increasing spillway capacity but in many situations is costly and difficult to implement. With a labyrinth spillway a greater length of sill is obtained, in the same space in plan by giving the sill a dentated form (usually a series of “ V’s ” or trapeziums instead of the normal straight line or curve). In newly constructed dams, the labyrinth solution may be adopted in cases when the topographical and geological characteristics of the damsite limit the space where the spillway will be located.

On some occasions labyrinth spillways have been employed instead of a straight overflow spillway to increase the active storage capacity of a reservoir. At the Ute dam, New Mexico, this solution was considered more economical and safer than a gated spillway.

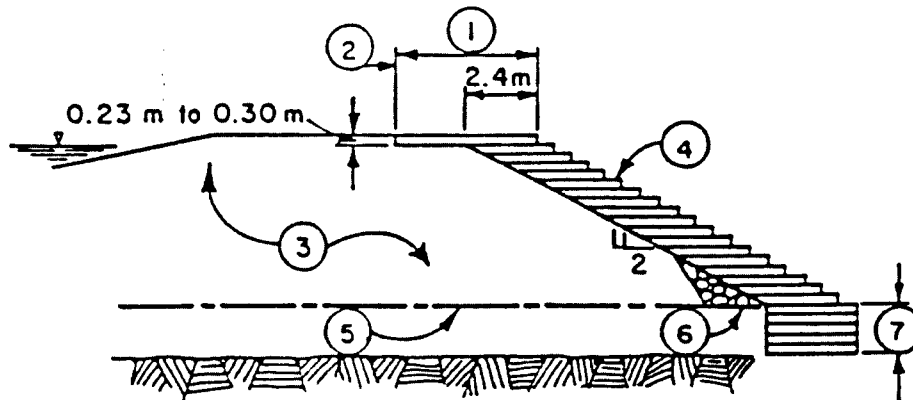
For large spillways, the labyrinth solution requires comprehensive studies and complicated construction methods. Two interesting reports referring to this type of spillway are presented in R. 15 and R.24 of Question 59 of the 15th ICOLD Congress.

*d) Modification of the reservoir operation*

In the case of a gated spillway it is possible to take the same action as described for concrete dams, changing the operating rules such that the reservoir level is kept low during flood periods to provide greater storage for flood routing.

*e) Modification of the dam to allow overtopping*

For overtopping of an embankment dam to be acceptable, even for short periods, it is generally necessary to take measures to protect the downstream slope.



Un procédé de protection vis-à-vis d'une submersion est représenté sur la Fig. 4 extraite du R.35-Q.63 du 17ème Congrès CIGB. Il consiste à mettre en place sur le talus aval une protection constituée de béton compacté au rouleau. Cette technique apparaît très prometteuse puisqu'elle permet l'adoption de talus plus raides, ce qui, du fait des économies de terre et d'enrochement, compense en partie le coût du béton compacté au rouleau.

Parmi les types de protection de talus aval ayant donné de bons résultats sur des barrages en terre, on peut citer : les gabions, les géotextiles et les blocs de béton ancrés dans le remblai. En général, l'utilisation de ces types de protection a été limitée aux barrages de faible hauteur et aux nappes déversantes de faible épaisseur.

Pour les ouvrages en enrochement, principalement les batardeaux ou comme protection à court terme contre les submersions pendant la construction, des treillis métalliques ancrés au moyen de barres en acier ont été utilisés pour la protection des talus aval. En raison des problèmes de corrosion, cette solution doit être déconseillée pour les ouvrages définitifs et n'est acceptable que pour les ouvrages provisoires de hauteur limitée.

D'autres solutions, basées sur l'utilisation de gros enrochements susceptibles de résister à des déversements relativement importants, ont été étudiées, mais les essais ont montré que les débits spécifiques admissibles étaient beaucoup plus petits que ceux estimés dans les études théoriques. Cela est dû au fait qu'en plus des gros blocs l'enrochement contient des matériaux de plus petite taille qui sont déplacés par l'eau traversant le remblai, facteur dont il est difficile de tenir compte dans les calculs.

Une autre solution consiste à revêtir le talus aval d'un masque en béton armé ou en béton bitumineux, identique à ceux utilisés comme organes d'étanchéité sur les talus amont.

Le Bulletin CIGB n° 48 a) « Maîtrise de la rivière pendant la construction du barrage » contient un rapport présenté par le Comité Australien et concernant la protection des barrages en enrochement au moyen de treillis métalliques pour permettre des déversements.

Fig. 4  
 Typical embankment modification using Roller Compacted Concrete  
*Modification type du remblai avec utilisation de béton compacté au rouleau*

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Varies</li> <li>2. Extend the protective surface upstream from the point of critical depth</li> <li>3. Existing embankment</li> <li>4. Roller compacted concrete</li> <li>5. Ground line</li> <li>6. Toe drain</li> <li>7. Key trench down to bedrock</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Variable selon les cas</i></li> <li>2. <i>Extension de la surface de protection vers l'amont à partir du point de profondeur critique</i></li> <li>3. <i>Remblai existant</i></li> <li>4. <i>Béton compacté au rouleau</i></li> <li>5. <i>Ligne du terrain naturel</i></li> <li>6. <i>Drain de pied</i></li> <li>7. <i>Tranchée d'ancrage jusqu'au rocher</i></li> </ol> |
|--|---|

One procedure for protecting against overtopping is shown in Fig. 4, which is taken from R.35 of Q-63 of the 17th ICOLD Congress. This consists of providing a downstream slope protection formed of roller compacted concrete. This approach appears very promising since it allows the use of steeper embankment slopes which, with the savings in earth or rockfill embankment materials, compensate in part the cost of the roller compacted concrete.

Other types of protection for downstream slopes that appear to have given good results with earthfill dams include gabions, geotextiles and concrete blocks anchored in the embankment. In general, the use of these types of protection has been restricted to dams of low height and small nappes.

For rockfill structures, principally cofferdams or as short term protection against overtopping during construction, metal mesh anchored with steel bars has been used to protect the downstream slope. Problems of corrosion make this solution inadvisable for permanent works and it is used preferentially with temporary works of limited height.

Other solutions have been studied based on the use of large rockfill that would resist a relatively large overflow but tests have shown that the allowable specific discharges are significantly smaller than those estimated in the theoretical studies. This is because, in addition to the large blocks, the rockfill contains smaller size material that are displaced by the water circulating through the fill, a factor that is difficult to introduce in the calculations.

Another solution could be to line the downstream slope with a facing of reinforced concrete or bituminous material, similar to those used as an impervious element on upstream slopes.

ICOLD Bulletin No 48a), «River Control During Dam Construction», includes a report presented by the Australian National Committee that refers to the protection of rockfill dams with metallic mesh in order to allow overtopping.

f) *Utilisation d'évacuateurs de crue du type « digue fusible »*

Cette solution apparaît convenir davantage aux barrages en remblai qu'aux barrages en béton, ces derniers pouvant mieux admettre une submersion.

Pour des barrages en service, il n'est généralement pas possible d'introduire une digue fusible, à moins d'abaisser le seuil du déversoir existant, comme indiqué précédemment.

Toute autre méthode sera équivalente à la construction d'un nouvel évacuateur.

g) *Nouvelle construction*

Dans certains cas, la construction d'un nouvel évacuateur sera nécessaire pour assurer la capacité supplémentaire d'évacuation exigée.

#### **4.5.3. Nouveaux barrages**

En ce qui concerne les barrages futurs, les critères de projet distingueront la crue de projet, pour laquelle les ouvrages d'évacuation seront conçus, et la crue de sécurité, pour laquelle un mauvais fonctionnement des évacuateurs ainsi que quelques dégâts sur le barrage peuvent être envisagés, à l'exclusion de sa rupture.

L'évacuation de la crue de projet sera normalement effectuée à travers l'évacuateur de crue et les autres ouvrages d'évacuation, et en suivant les consignes d'exploitation de la retenue établies à cet effet.

Pour l'évacuation de la crue de sécurité, on peut considérer les moyens suivants :

a) *Submersion*

Pour les barrages en béton, les dispositions prises lors du projet pour permettre une submersion (l'accroissement des sous-pressions dans la fondation étant prise en compte dans le cas des barrages-poids) n'augmentent pas, en général, les coûts. Il est recommandé d'équiper la crête du barrage de garde-corps à claire-voie pour faciliter le passage de l'eau.

Pour les barrages en remblai, la submersion n'est généralement pas admise. Toutefois, dans le cas de barrages de petite hauteur, on peut étudier des solutions consistant à renforcer le talus aval au moyen d'un treillis métallique ou d'un masque en béton (BCR ou béton armé), en prenant les précautions nécessaires dans le projet.

L'adoption de ces techniques nécessite de la prudence lors de l'extrapolation des solutions adoptées dans des barrages de hauteur inférieure à celle du barrage étudié.

Comme indiqué précédemment, le rapport du Comité Australien figurant dans le Bulletin 48a) présente une étude approfondie sur l'utilisation de treillis métalliques pour la protection des talus aval des barrages en enrochement.

f) *Use of fuse plug spillways*

This solution can also be considered for concrete dams but appears less useful there than for embankments because of the greater ability of concrete structures to accept overtopping.

With operating dams it is not usually possible to introduce a fuse plug spillway other than by lowering the sill of the existing spillway, as previously mentioned.

Any other means would be equivalent to constructing a new spillway.

g) *New construction*

In some cases, the construction of a new spillway may be required to furnish the additional flood discharge capacity needed for the dam.

#### **4.5.3. Newly constructed dams**

In the case of future dams, the design criteria should distinguish between the design flood, for which the outlet structures are designed, and the extreme flood, for which some malfunction of the outlet works may be envisaged as well as some damage to the dam, but never its destruction.

The evacuation of the design flood is carried out in a normal way, through the spillways and other outlet works and following the reservoir operating rules established for this purpose.

For the discharge of the extreme flood one can consider the following means :

a) *Overtopping*

With concrete dams, it does not generally increase the cost to provide in the design for overtopping, taking into account with gravity dams the possible increase of uplift pressures on the dam foundation. It is desirable to provide the dam crest with open guardrails to facilitate the passage of water.

With embankment dams overtopping is not generally allowed. However, with low dams one can analyze solutions involving the strengthening of the downstream slope with metallic mesh or concrete facing, either of RCC or reinforced concrete, and taking the necessary precautions in the design.

For the adoption of these solutions it is necessary to be prudent in the extrapolation of solutions used in dams of lesser height than that which is being planned.

As previously mentioned, the report of the Australian National Committee to the ICOLD Bulletin No 48 presents an extensive study on the use of metallic mesh for the protection of the downstream slopes of rockfill dams.



*b) Évacuateurs de crue du type « digue fusible »*

L'utilisation d'évacuateurs de crue du type « digue fusible », qui fonctionnent par auto-effacement et permettent l'évacuation de la crue lorsque la retenue atteint un niveau fixé à l'avance, est une solution possible mais nécessitant quelques commentaires. La digue fusible sera implantée de sorte que les débits soient évacués dans un cours d'eau normalement habitué à recevoir des écoulements importants, si possible dans le lit même de la rivière. De cette façon, on pourra éviter les érosions imprévisibles lorsque des débits relativement élevés sont évacués sur des matériaux naturels n'ayant pas été précédemment exposés à de tels écoulements.

Au stade des études d'avant-projet, il est donc nécessaire de procéder à une analyse approfondie du chemin des écoulements à l'aval de la digue fusible, afin de vérifier que les dégâts ne sont pas excessifs. Le fait qu'on considère une crue de sécurité n'élimine pas le risque et on doit être préparé à y faire face.

Il importe de vérifier, lors du projet, que l'évacuateur du type «digue fusible» est parfaitement conçu pour remplir véritablement sa fonction. La nature des matériaux constitutifs sera étudiée en vue de s'assurer que tout changement de leurs caractéristiques dans le temps (cimentation, consolidation, etc.) n'affectera pas leurs propriétés mécaniques au point de les empêcher de remplir leur fonction le moment venu, une submersion se produisant alors dans d'autres zones non protégées.

Les digues fusibles se rompent seulement lors des crues importantes pour lesquelles elles ont été conçues et non pendant l'exploitation normale. La rupture ne doit pas être également soudaine ; elle s'effectuera comme prévu, c'est-à-dire afin qu'une importante onde de crue ne transite pas dans le chenal d'évacuation aval. À tous moments, ce chenal doit permettre le passage des débits de crue prévus, sans risque pour les personnes et les biens.

L'utilisation de digues fusibles, de hausses fusibles ou de vannes gonflables sur les évacuateurs de crue des barrages permet l'augmentation de la capacité d'évacuation et l'abaissement du niveau du seuil de contrôle lorsque la retenue dépasse un niveau fixé à l'avance. Diverses applications de ce principe sont données dans l'Annexe III. Un tel dispositif présente l'avantage que les débits de crue passant par l'évacuateur fusible sont toujours dirigés vers le lit principal de la rivière et qu'il n'y a pas de risque d'évacuation de forts débits dans des zones habituellement sèches, comme c'est le cas lorsque les digues fusibles constituent des digues de col sur le pourtour du réservoir.

Le coût de remplacement d'une digue fusible après le passage d'une crue, de même que le coût de réparation des dégâts éventuels, seront estimés en fonction de la probabilité d'occurrence de la crue nécessitant la mise en service de l'évacuateur fusible. Ces éléments seront pris en compte lors de la comparaison des diverses solutions au stade du projet.

**4.5.4. Points à considérer lors de l'évaluation du coût du barrage se rapportant à la maîtrise des crues**

Des considérations générales sont présentées ci-après sur l'évaluation du coût de la maîtrise des crues, afin que la solution adoptée pour un barrage donné soit la plus économique.

#### *b) Fuse plug spillways*

The use of fuse plug spillways, which function by self-destructing and allowing flow to discharge when the reservoir reaches a predetermined level, is a possible solution but one that requires some comment. Fuse plug spillways should be located such that the flows will be discharged into a watercourse normally accustomed to carrying large volumes of flow, if possible the river bed itself. In this way it should be possible to avoid the unpredictable erosion that could occur when relatively large flows are discharged over geological materials that have not been previously exposed.

In the project planning it is necessary, therefore, to thoroughly analyze the path of flows that would be discharged by a fuse plug spillway to ensure that damage is not excessive. The fact that one is considering an extreme flood event does not eliminate the risk and it is necessary to be prepared for the moment of its arrival.

It is necessary to ensure in the project that fuse plug spillways are truly that - fusible. The nature of the constituent materials must be studied to ensure that any change in their characteristics with time (cementation, consolidation, etc.) will not affect their mechanical properties in a way that would prevent them from functioning properly when needed, causing overtopping in other unprotected zones.

Fuse plugs should break only when important floods occur, those that they have been designed for, and not during normal operation. Also, the rupture should not be sudden; it should take place as predicted, in order, that a large flood wave is not released into the discharge channel downstream. At all times, the discharge channel should be able to permit the passage of the anticipated flood flows without risk to persons or property.

The use of fuse plug, fusegate, or inflatable spillways located in the spillway of the dam is useful for increasing the spillway capacity and lowering the level of the controlling sill when the reservoir exceeds a predetermined level. Various methods of applying this principle are included in Appendix III. Such an arrangement has the advantage that flood flows from the fuse plug spillway are always directed to the main river bed, and there is no risk of large flows being released into zones that are normally dry, as is the case when fuse plugs are located in saddle valleys on the reservoir rim.

The cost of replacing a fuse plug after it has served to pass a flood, as well as the cost of repairing damage that may have been caused by its operation, should be weighed against the probability of occurrence of the flood that would necessitate its operation. This should be taken into account in the design phase when comparing this solution with other alternatives.

#### **4.5.4. Points to be considered when valuing dam costs in relation to the control of floods**

In the following, general considerations are presented regarding the evaluation of the cost of flood control so that the solution adopted for a given dam will be the most economic.

Ainsi qu'on l'a souligné dans ce Bulletin, pour un même volume de retenue et un même niveau de sécurité, toutes les solutions doivent être équivalentes.

Dans l'analyse du coût d'un évacuateur de crue, on doit tenir compte du coût de la construction et des coûts annuels d'exploitation et d'entretien, variables suivant le type de barrage. Ainsi, pour un barrage ayant un évacuateur à seuil libre, les coûts d'exploitation et d'entretien sont minimaux. Pour un barrage ayant un évacuateur équipé de vannes, les coûts annuels d'entretien sont beaucoup plus importants.

Si des dégâts sont susceptibles d'être causés lors de l'évacuation de la crue de sécurité, il importe de considérer les coûts de réparation ou de remplacement de la digue fusible, si une telle solution est adoptée, en tenant compte toujours de la probabilité d'occurrence d'une telle crue.

Dans le cas d'un barrage en remblai, les matériaux provenant des fouilles de l'évacuateur de crue seront généralement utilisés pour la construction du remblai. On doit en tenir compte dans l'évaluation du coût du barrage.

Si une surélévation du niveau du réservoir est acceptée pour l'évacuation de la crue de sécurité, il ne semble pas nécessaire de faire l'acquisition des terres susceptibles d'être inondées dans un tel cas. Ces terres, situées entre le niveau de retenue correspondant à la crue de projet et le niveau requis pour l'évacuation de la crue de sécurité, seront considérées pareillement à celles situées dans le lit majeur de la rivière, c'est-à-dire convenant à certains usages mais pas à tous.

La submersion éventuelle d'une telle zone sur le pourtour du réservoir, résultant d'une surélévation au-dessus du niveau normal des plus hautes eaux, se produira lentement et le seul dommage causé sera l'inondation ; l'eau n'aura pas une énergie cinétique ni une puissance destructrice, comparables à celles d'un écoulement dans le lit majeur d'une rivière. Ainsi, les dégâts pouvant survenir sur le pourtour du réservoir seront faibles et les restrictions à l'utilisation des terres seront également minimales. La submersion de ces zones dans des cas exceptionnels sera admissible et ne nécessitera pas l'acquisition des terrains par le maître d'ouvrage.

Pour les barrages ayant d'autres fonctions que la maîtrise des crues (par exemple, irrigation, production hydroélectrique, fourniture d'eau, etc.), la maîtrise des crues est toujours considérée et une tranche de retenue est souvent prévue pour l'écrêtement des crues. En général, un barrage réduit de façon significative l'inondation à l'aval. Les montants des dégâts associés aux crues, qui sont évités par la présence du barrage, doivent être évalués et payés par les bénéficiaires ou, en tout cas, par la société par l'intermédiaire des administrations publiques qui peuvent répartir les montants entre les bénéficiaires directs au moyen de taxes.

Généralement, les avantages résultant de la maîtrise des crues ne sont pas pris en compte dans l'étude économique d'un barrage et cependant, ultérieurement, on peut demander de maintenir une certaine tranche de crue dans le réservoir. De cette façon, les avantages pour certains sont payés par d'autres. Les propriétaires terriens à l'aval bénéficient de la protection contre les crues, alors que les coûts supplémentaires du barrage et du réservoir pour l'écrêtement des crues sont supportés par les utilisateurs du barrage à travers les tarifs appliqués à la fourniture d'électricité ou d'eau potable.

As has been emphasized throughout this Bulletin, all solutions should be equivalent, having the same reservoir capacity and the same degree of safety.

In the analysis of spillway cost, one must take into account the cost of construction and the annual operating and maintenance costs, which vary according to the type of dam. Thus, for a dam with an ungated spillway the operating and maintenance costs are minimal. For a dam with a gated spillway these annual maintenance costs are much more important.

In the event that some damage may be caused during the evacuation of an extreme flood, it is necessary to consider the costs of the repair or replacement of fuse plug spillways, should this solution be adopted, always taking into account the probability of occurrence of such a flood.

In a fill dam, the material from the spillway excavation are used, normally, to build the embankment. This fact must be taken into account in the evaluation of the dam cost.

In the event that a surcharge in reservoir level is accepted for the evacuation of extreme floods, it does not seem necessary to acquire the land that would potentially be flooded in such a case. These lands, which are located between the reservoir level for the design flood and the level required to pass the extreme flood, should be considered the same as those which are located in the flood channel of the river, i.e. suitable for certain uses but not all.

The eventual flooding of such a zone on the border of the reservoir due to a rise above its normal maximum level would occur slowly and the only damage that would result would be the actual flooding; the water would not have the kinetic energy and destructive power that occur in the flood channel of a river. Thus, the damage that can occur on the reservoir rim will be minimal and the restrictions on land use should also be minimal. The flooding of these zones in extreme cases should be considered admissible without them having to be acquired by the dam owner.

With dams constructed for reasons other than flood control, for example for irrigation, hydroelectric production, water supply, etc., the possibility of flood control is always considered and in many cases some reservoir storage is left available for flood routing. In general, a dam significantly reduce downstream flooding. Flood damage costs that are avoided should be evaluated and paid for by the beneficiaries, or in any case by society in general through the public administrations that are its representatives and that can distribute the costs to the direct beneficiaries by means of taxes.

Normally, flood benefits are not considered when making an economic study for a dam and yet, later on, it may be required to maintain some flood storage capacity in the reservoir. In this way, the benefits for some are paid for by others. Downstream landowners benefit from the flood protection while the additional costs of the dam and reservoir for flood routing is borne by the customers of the dam, through tariffs for electricity or drinking water.

En résumé, il semble que lors de l'évaluation du coût d'un barrage, les profits reçus indirectement par la société ne sont pas toujours pris en compte de façon appropriée, spécialement dans le cas de la maîtrise des crues, et les coûts ne sont pas supportés par les bénéficiaires réels.

#### **4.5.5. Dispositifs d'alerte**

L'installation de dispositifs d'alerte pour prévenir la population située à l'aval d'un barrage de l'arrivée imminente d'une crue peut réduire fortement le risque de perte en vies humaines.

Étant donné que l'effet d'amortissement créé par le barrage réduit la fréquence d'inondation, le lit majeur de la rivière à l'aval est souvent occupé en partie. Dans ce cas, l'installation d'un dispositif d'alerte, destiné à avertir, le plus de temps possible à l'avance, de l'arrivée d'une crue importante, rend possible l'évacuation des personnes des zones aval sujettes à inondation, et permet également d'éviter ou de réduire les dégâts matériels.

Avant l'installation d'un dispositif d'alerte, les limites des champs d'inondation à l'aval, correspondant à la crue de projet et à la crue de sécurité, seront déterminées. Les zones qui seront inondées en cas de rupture du barrage seront également définies.

Si le barrage est équipé d'un dispositif d'auscultation adéquat, tout comportement anormal susceptible d'affecter la sécurité du barrage peut être détecté suffisamment tôt pour permettre de prendre des mesures correctives. Cela est également vrai si le barrage est équipé d'un système de prévision hydrologique. À partir d'un réseau de mesures de précipitations et de débits à l'amont, on peut également prévoir l'arrivée d'une crue. Si un système approprié de prévision des crues a été installé, cette prévision faite suffisamment tôt permet d'alerter la population située à l'aval.

Dans de nombreux pays, la législation prescrit l'installation de ces dispositifs d'alerte, qui généralement augmentent peu le coût du barrage et permettent de réduire notablement, et même d'éliminer, le risque de perte en vies humaines.

In summary, it seems that in evaluating the cost of a dam the benefits received indirectly by society are not always taken into account in an appropriate way, particularly in the case of flood control benefits, and the costs are not borne by the real beneficiaries.

#### **4.5.5. Alarm systems**

The establishment of alarm systems to warn the population downstream of a dam of an impending flood can greatly reduce the risk of loss of human life.

In many cases, since the routing effect created by the dam reduces the frequency of flooding, the river flood plains downstream are partially occupied. Taking this into account, the installation of an alarm system that provides the greatest possible advance warning of an important flood allows the evacuation of persons from designated downstream areas that are subject to inundation, and can also avoid or partially reduce material damages.

Before the establishment of an alarm system, the limits should be determined of downstream zones that would be subject to inundation for events including the design and extreme flood. The zones that would be inundated in the event of a dam failure should also be defined.

If the dam is adequately equipped with monitoring instrumentation, anomalous behavior that could affect the safety of the dam can generally be recognized early enough for corrective measures to be taken. The same is true if the dam is equipped with a system for hydrological forecasting. With an upstream rainfall and flow measurement network one can also forecast the arrival of a flood. If an adequate warning system has been installed, this advance indication should be sufficient to alert the population downstream.

In many countries legislation requires the installation of these alarm systems, which generally add little to the operating costs of the dam and which permit reducing notably, and even eliminating, the risk of loss of human life.

---

## 5. MAÎTRISE DES CRUES PENDANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE

---

La construction d'un barrage nécessite la dérivation de la rivière de son lit naturel pendant une certaine période, afin de permettre une bonne exécution des fouilles, du traitement de la fondation, de la mise en place du béton ou de la terre et de l'enrochement, etc.

Les ouvrages de dérivation doivent être conçus pour assurer une mise hors d'eau du chantier des travaux de fondation jusqu'à une valeur donnée de crue. À cet effet, on doit répondre à deux questions : Pour quelle crue les ouvrages de dérivation doivent-ils être dimensionnés ? Comment concevoir ces ouvrages afin de minimiser le coût total du barrage ?

### 5.1. CAPACITÉ DES OUVRAGES DE DÉRIVATION PROVISOIRE

Comme indiqué dans le rapport présenté par F. Lempérière, au nom du Comité de la Technologie de Construction des Barrages, au 16<sup>e</sup> Congrès de la CIGB (Vol. V, p. 537), on doit tout d'abord considérer la sécurité des installations situées à l'aval du barrage, lors de la définition de la crue maximale pouvant être évacuée par les ouvrages de dérivation provisoire.

Au moment de l'approbation de la construction d'un nouveau barrage, la société accepte implicitement un certain risque de sa destruction. Il est évident que la probabilité de rupture du barrage est faible, mais on doit prendre en compte dans le projet que le risque assumé par la société sera le même au cours de la période de construction que pendant la phase d'exploitation du barrage.

Le fait que la période de construction peut ne durer qu'une ou deux années ne doit pas conduire, pour certains ou tous les habitants situés à l'aval de l'aménagement, à un risque plus grand au cours de cette période que celui accepté pendant la phase d'exploitation du barrage.

En fonction du type de barrage et du dispositif de dérivation envisagé, il est évident que le risque à assumer au cours de la construction peut être très faible. Par exemple, pour la plupart des barrages en béton ayant des batardeaux en béton conçus pour un déversement, une crue susceptible de dépasser la capacité de dérivation ne sera jamais supérieure au débit que l'on aurait enregistré sans la présence de l'aménagement. De même, un batardeau en remblai, de faible hauteur, créant un réservoir de petite capacité, ne cause pas, en général, de problèmes à l'aval, puisque la destruction d'un tel ouvrage n'entraînerait qu'une faible augmentation du débit de crue.

Dans ces cas et dans d'autres identiques, où le dépassement de la capacité des ouvrages de dérivation ne cause pas de dégâts à l'aval, ou entraîne des dégâts peu importants réparables à faible coût, le choix de la capacité de dérivation est strictement un problème économique, avec recherche du moindre coût.

---

## 5. CONTROL OF FLOODS DURING DAM CONSTRUCTION

---

In order to construct a dam it is necessary to divert the river from its natural channel for a certain period, the object being to allow the proper execution of excavation work, foundation treatment, concreting or placement of earth and rockfill materials, etc.

The diversion works must be planned to ensure that the foundation working area will be maintained dry under flood conditions up to a given maximum flood. To this end two questions must be answered: For what flood capacity should the diversion works be dimensioned? and, How can the diversion be carried out so as to minimize the overall cost of the dam?

### 5.1. CAPACITY OF TEMPORARY DIVERSION WORKS

As noted in the paper presented by F. Lempérière on behalf of the Committee on Technology of Dam Construction at the 16th ICOLD Congress (Vol. V, p. 537), in order to establish the maximum flood that can be evacuated by the temporary diversion works, one should first consider the safety of installations downstream of the dam.

When approving the construction of a proposed new dam, society implicitly accepts a certain risk of its possible destruction. Obviously, the probability of dam failure is minimal, but a consideration that should be taken into account in design is that the risk assumed by society will be the same during construction of the project as through the operating phase.

The fact that the construction period may only last one or two years doesn't allow the risk for some or all of the residents downstream of the project, to be greater during this period than that which is accepted for the operating stage of the dam.

Depending on the type of dam being considered and the diversion scheme that is envisaged, it is obvious that the risk to be assumed during construction can be very small. As an example, for the majority of concrete dams having cofferdams also built of concrete and designed to accept overtopping, the occurrence of a flood that exceeds the diversion capacity will never exceed the flows that would be experienced without the project. Nor would the use of a low embankment-type cofferdam with a minimum capacity reservoir normally cause problems downstream, since the destruction of such a structure would only result in a small increase in flood flow.

In these and other similar cases, where exceeding the discharge capacity of the diversion causes no damage downstream, or minimum damage that can be repaired at small cost, the choice of diversion capacity is strictly an economic question that should result in the cost of the works being minimal.



Dans d'autres cas, le type de dérivation adopté peut entraîner des risques importants à l'aval. Par exemple, pour un batardeau en remblai créant une importante capacité de stockage, une rupture par submersion conduit parfois à une crue artificielle beaucoup plus grande que la crue provoquant la rupture. Pour des zones à forte densité de population, cela peut constituer un risque plus grand que celui auquel la population est exposée après l'achèvement de la construction du barrage. Par conséquent, si la rupture du batardeau, ou des ouvrages en cours de construction (cas de barrages en remblai non conçus pour des submersions), est susceptible de causer des dommages à l'aval, les mesures à prendre doivent répondre aux mêmes critères que ceux appliqués à un barrage en exploitation. Les risques afférents aux vies humaines ou aux biens, au cours de la période de construction, ne doivent pas être supérieurs à ceux considérés comme acceptables après la fin de la construction.

Pour le choix de la crue servant à dimensionner les ouvrages de dérivation provisoire, en plus des considérations précédentes, les points suivants doivent être examinés :

- Le plus grand nombre d'informations hydrologiques seront recueillies et analysées, incluant les débits minimaux, qui peuvent même être nuls dans les zones arides. Dans un tel cas, il est parfois possible d'éviter totalement la construction d'ouvrages de dérivation, ou de les réduire au minimum, en prévoyant la construction du barrage pendant la période sèche. Une autre solution, consistant à construire le barrage jusqu'à une certaine hauteur et à utiliser les évacuateurs de fond pour la dérivation provisoire, peut être examinée.

- Il est nécessaire d'être prudent dans la détermination de la hauteur des batardeaux. Dans certains cas, un batardeau de grande hauteur permet un stockage de la crue et l'adoption d'une galerie de dérivation de capacité plus petite. Cependant, on doit toujours tenir compte du risque de rupture du batardeau, pouvant causer une inondation à l'aval beaucoup plus importante que celle que l'on aurait enregistrée normalement, ce qui augmente les risques vis-à-vis des installations à l'aval. Il faut se rappeler qu'en général les batardeaux ne sont pas construits avec les mêmes coefficients de sécurité que ceux appliqués aux barrages définitifs. Si des batardeaux de grande hauteur sont prévus, on doit prendre des mesures appropriées pour assurer leur sécurité vis-à-vis du risque de rupture par submersion.

- L'inondation du chantier et tous les surcoûts associés, y compris les indemnités éventuelles pour les dommages causés à l'aval, seront des risques que devront supporter toutes les parties impliquées dans la construction du barrage.

- Lors de l'estimation du risque, on tiendra toujours compte du fait qu'au cours des travaux de construction une main-d'oeuvre et un matériel importants sont généralement disponibles et peuvent être utilisés pour surélever les batardeaux, protéger certaines zones au moyen d'enrochement, etc., si cela s'avère nécessaire, ce qui n'est pas possible au cours de la phase d'exploitation d'un barrage achevé.

- Dans le cas de la construction d'un barrage en béton ayant une bonne fondation et des batardeaux également en béton, on peut généralement admettre qu'une submersion ne causera pas de problèmes importants et n'augmentera pas les risques à l'aval.

- La construction de barrages en enrochement jusqu'à une hauteur d'environ dix mètres au-dessus du niveau de fondation permet souvent d'accepter des

In other cases the diversion solution which is adopted can involve important risks downstream. As an example, with embankment-type cofferdams having a significant storage capacity, failure by overtopping can lead to an artificial flood that is much greater than that which provoked the failure. For some zones that might be heavily populated, this could increase the risk beyond that to which the population would be exposed when the dam is completed. Consequently, if failure of the cofferdam, or of the works under construction (case of embankment dams for which no provision has been made for overtopping), can cause downstream damages, the precautions to be taken should follow the same criteria as those for an operating structure. Significant risks to human life or property damage during construction should not exceed those that are considered acceptable for the finished structure.

For the selection of the flood that will serve to fix the capacity of the temporary diversion, in addition to the foregoing considerations, the following should be taken into account:

- A collection and analysis should be made of the greatest quantity possible of hydrological information, including minimum flows, which could even be null in arid zones. In such a case it might be possible to avoid the use of diversion works altogether, or to reduce them to a minimum, by planning the dam construction in the dry period. Alternatively, constructing the dam to a certain height and using the low level outlets for temporary diversion may be considered.
- It is necessary to be prudent in establishing the height of the cofferdams. In some situations a high cofferdam allows flood storage and the construction of a diversion tunnel having a smaller capacity. However, the possibility should always be considered of cofferdam failure that could cause downstream flooding much greater than that which would normally be experienced, and thereby increasing the risk to downstream installations. It should be remembered that, in general, cofferdams are not constructed with the same factors of safety as permanent dams. Thus, if high cofferdams are planned, they should be constructed with appropriate safeguards to ensure their safety against failure by overtopping.
- Flooding of the worksite, and all associated extra costs including eventual compensation for downstream damages, should be a risk to be borne by all groups involved in the dam construction.
- In estimating risk one should always take into account the fact that during construction significant workforce and equipment are generally available and can be used to heighten the cofferdams, protect some zones with embankments, etc. when required, something which is not possible during the operating phase of a completed dam.
- When dealing with the construction of a concrete dam with a relatively good foundation and cofferdams also of concrete, it can generally be assumed that overtopping will not cause significant problems and, thus, the risk downstream will not be increased.
- When constructing rockfill dams up to a height of about ten meters above the foundation level, overtopping can be accepted in many cases without increasing risk

submersions sans augmentation du risque à l'aval, à condition que des mesures soient prises pour protéger le talus aval avec des gros blocs, un treillis métallique ou d'autres dispositifs identiques.

- Comme pour les barrages en enrochement en cours de construction, les batardeaux en enrochement peuvent supporter des submersions si des mesures appropriées sont prises. Dans de tels cas, il importe de limiter la hauteur du batardeau de façon que la submersion n'augmente pas le risque de dommages à l'aval.

- À titre d'exemple, on peut signaler qu'au Maroc, sur les rivières importantes, les ouvrages de dérivation sont dimensionnés pour les crues de périodes de retour suivantes : 20 ans dans le cas de barrages en béton, 50 à 100 ans dans le cas de barrages en remblai.

## **5.2. OUVRAGES DE DÉRIVATION PROVISOIRE**

L'intention n'est pas d'examiner en détail les différents types d'ouvrages utilisables pour la dérivation provisoire de la rivière, ni les différentes solutions applicables aux batardeaux, galeries ou canaux, etc.; ces questions ont été traitées dans le Bulletin 48 « Maîtrise de la rivière pendant la construction du barrage ». Le présent chapitre se limitera à quelques recommandations susceptibles de conduire à des économies dans la construction du barrage.

Les mesures permettant de diminuer les coûts partent du principe, précisé ci-dessus, que de telles économies ne doivent pas augmenter les risques à l'aval, par rapport à la situation qui règnera une fois le barrage construit. On peut citer les mesures suivantes :

- Dans le cas de petits barrages de construction rapide, le coût de la dérivation peut être réduit en prévoyant l'exécution des ouvrages principalement pendant la période de basses eaux.

- Le risque lié à l'inondation de la zone fermée par les batardeaux variera en fonction des dommages susceptibles d'être causés par une telle inondation. Ainsi, au début des travaux, le risque peut être moindre qu'à une période ultérieure de la construction (par exemple, pendant le montage des groupes turbine-alternateur dans une usine hydroélectrique) où les pertes dues à l'inondation sont plus importantes. Cela suggère une construction par étapes de la dérivation, des économies étant ainsi obtenues en étalant les investissements dans le temps.

- Dans les cas où le barrage est une structure composite, en béton et en remblai, la protection des zones en remblai devra être supérieure à celle des zones en béton, compte tenu de la plus grande vulnérabilité des matériaux de remblai vis-à-vis d'une submersion.

- Si une inondation du lit de la rivière se produit après l'achèvement des fouilles de la fondation du barrage, l'importance des dégâts en résultant dépend, pour une grande part, de la géologie. Pour cette raison, la géologie du site est un facteur dont il faut tenir compte lors de l'optimisation des dimensions des ouvrages de dérivation provisoire.

- Une solution peu courante, suggérée parce qu'elle conduit parfois à des économies, est l'utilisation de plusieurs galeries pour la dérivation de la rivière.

downstream, providing always that suitable precautions are taken to protect the downstream slope with large blocks, metallic mesh or other similar treatment.

- As with rockfill dams under construction, rockfill cofferdams can withstand overtopping if adequate protective measures are taken. In such cases it is important to limit the cofferdam height so that overtopping will not increase the risk of damage downstream.

- By way of an example, it can be noted that in Morocco, on important rivers, the river diversion works for concrete dams are usually dimensioned for floods with a return period of 20 years, while for embankment dams a return period of 50 to 100 years is used.

## **5.2. RIVER DIVERSION WORKS**

It is not the intent to go into the details of the different types of works that may be involved in temporary river diversion, nor of the different solutions that may apply for the cofferdams, tunnels or canals, etc; these have all been discussed in the ICOLD Bulletin No.48 “ River Control During Dam Construction ”. This section will be limited to making recommendations that can help in identifying savings in the cost of the dam.

Reference is made, therefore, to cost saving measures in the diversion works, starting from the premise stated above that such savings should not increase downstream risks relative to the situation that will prevail once the dam is constructed. Such measures include the following:

- In the case of small dams whose construction can be completed in a short period of time, the cost of the diversion can be minimized by planning the work to be carried out mainly in the low water period.

- The risk of flooding of the cofferdammed area can and should vary as a function of the damages that may be caused by such flooding. Thus, at the outset of the work, the risk may be less than at a later period of construction (for example during the erection of the turbine-generator units in a hydroelectric powerhouse), in which case the losses due to flooding are much greater. This suggests that the diversion may be constructed in stages, thereby achieving savings by delaying construction investment costs.

- In cases where the dam is a composite structure, constructed of concrete in some parts and of embankment in others, the protection of the embankment sections should be greater than that provided for the concrete sections because of the greater sensitivity to flooding of the embankment materials.

- In the event of flooding of the river bed after the foundation excavation for the dam has been completed, the geology plays a fundamental role in determining the extent of the damage that may result. For this reason the site geology is a factor to be considered when optimizing the dimensions of the river diversion.

- An unusual solution, suggested because of the savings that may sometimes be realized, is the use of several tunnels for river diversion. These can be constructed at

Celles-ci peuvent être construites à divers niveaux, certaines étant situées à niveau bas avec une capacité déterminée pour les premières étapes de construction, d'autres étant situées au-dessus du niveau normal de la rivière et entrant en service lorsque le niveau du réservoir à l'amont du batardeau, ou même du barrage proprement dit en cours de construction, atteint un niveau défini à l'avance. Les galeries implantées aux niveaux supérieurs sont généralement plus courtes et leur construction plus simple que celles situées aux niveaux inférieurs. En outre, comme elles ne fonctionnent qu'en de rares occasions, elles peuvent ne pas être revêtues.

- Dans le cas de barrages en remblai avec batardeaux également en remblai, l'intégration du batardeau provisoire dans l'ouvrage définitif peut conduire à des économies.

- L'utilisation d'un ouvrage en béton définitif d'un barrage comme batardeau (par exemple, l'ouvrage de pied amont d'un barrage en enrochement) n'est généralement pas souhaitable. En effet, le batardeau doit être construit au début des travaux, à un moment où la centrale à béton n'est pas encore disponible. En général, il est plus économique de construire un batardeau provisoire, avec un béton de faible qualité, dont la fondation répond aux conditions requises exclusivement pour un batardeau provisoire et non pour un barrage définitif.

- Pour des batardeaux déversants, le béton compacté au rouleau semble être une bonne solution, conduisant à un coût réduit. La qualité de ce béton peut être très inférieure à celle du BCR utilisé dans la construction des barrages. Les conditions demandées pour les fondations sont moins rigoureuses. Les fuites acceptables peuvent être relativement importantes, etc. De cette façon, la qualité requise pour le béton étant faible, son coût est relativement bas.

- L'installation d'un dispositif d'alerte, avertissant les habitants situés à l'aval d'un danger, est très utile en vue de réduire les risques en cours de construction. En général, une telle installation n'est pas coûteuse.

different elevations, some at a low elevation with a capacity calculated for the initial stages of construction, and others that are above the normal river level and that can be put into operation when the reservoir level upstream of the cofferdam, or even better the dam proper which is under construction, reaches a predetermined level. The tunnels located at higher levels are usually shorter and their construction simpler than those at the lower elevations. In addition, as they are only operated on limited occasions, they may not need lining.

- In embankment dams with cofferdams also of the embankment type, the integration of the temporary cofferdam in the permanent works can secure economies.

- The use of permanent concrete of the dams as cofferdams (for example the upstream toe structure of a rockfill dam) is not usually advisable. It must be taken into account that the cofferdam must be constructed at the beginning of the work, when the concrete manufacturing plant are still not available. It is usually more economical to construct a temporary cofferdam, with poor quality concrete, and founded in a manner that they comply with the conditions required exclusively for a temporary cofferdam and not for a permanent dam.

- Roller compacted concrete appears to be a good solution at a reduced cost for cofferdams which admit overtopping. The quality of these concretes can be very much lower than that of the roller compacted concrete employed in the construction of dams. The conditions demanded for the foundations can be minimum. The acceptable leakage through the cofferdam can be relatively large, etc. In this manner, the quality of the concrete required being low, its cost can be low.

- The establishing of an alarm system that advises the inhabitants of the downstream, can be very useful in order to reduce the risk during construction. In general, this warning system is not expensive.

...

.



---

## ANNEXES/APPENDICES

---

Annexe I	Questionnaire - Maîtrise des crues. Situation actuelle	Appendix I	Questionnaire - Flood Control. Actual Situation
Annexe II	Analyse des informations reçues	Appendix II	Analysis of the information received
Annexe III	Solutions non traditionnelles de maîtrise des crues	Appendix III	More recent solutions for flood control
Annexe IV	Coût d'exploitation et d'entretien. Exemples	Appendix IV	Cost of operation and maintenance. Examples



---

## ANNEXE I

---

### QUESTIONNAIRE MAÎTRISE DES CRUES. SITUATION ACTUELLE

**1) Informations générales**

- a) Nom du barrage
- b) Pays
- c) Année d'achèvement

**2) Caractéristiques hydrologiques**

- a) Bassin versant
- b) Capacité de retenue
- c) Crue de projet
- d) Méthode utilisée pour le choix de la crue de projet
- e) Capacité totale des ouvrages d'évacuation
  - Sous la cote de retenue normale
  - Sous la cote des plus hautes eaux
- f) Chute de pluie moyenne dans le bassin versant (mm/m<sup>2</sup> par an)
- g) Débit maximal enregistré après la fin de construction

**3) Barrage**

- a) Type de barrage
  - VA - Voûte
  - PG - Poids
  - CB - Contreforts
  - MV - Voûtes multiples
  - BM - Barrage mobile
  - TE - Terre
  - ER - Enrochement
- b) Hauteur au-dessus de la plus basse fondation
- c) Longueur en crête

**4) Évacuateurs de crue** (informations sur chaque ouvrage existant dans le barrage)

- a) Capacité

---

## APPENDIX I

---

### QUESTIONNAIRE FLOOD CONTROL. ACTUAL SITUATION

**1) General Information**

- a) Dam name
- b) Country
- c) Year of completion

**2) Hydrological characteristics**

- a) Catchment area
- b) Storage capacity
- c) Design flood
- d) Method used for the design flood selection
- e) Total spillways and outlets capacity
  - With normal water level
  - With maximum water level
- f) Average rainfall in the catchment area. mm/m<sup>2</sup> by year
- g) Maximum flow recorded after the year of completion

**3) Dam**

- a) Dam type
  - VA-Arch
  - PG-Gravity
  - CB-Buttress
  - MV-Multi-arch
  - BM-Gate structure dam
  - TE-Earthfill
  - ER-Rockfill
- b) Height above lowest foundation
- c) Crest length

**4) Spillways (Information about everyone existing in the dam)**

- a) Capacity

- b) Situation (en crête, latéral, sur un col, etc.)
- c) Avec vannes ou sans vannes
- d) Vannes : nombre et dimensions
- e) Type de vanne (Stoney, wagon, segment, etc.)
- f) Sources d'alimentation en énergie

**5) Maîtrise de la rivière pendant la construction du barrage**

- a) Durée de construction du barrage
- b) Type de dérivation adopté
  - Batardeaux et galerie
  - Batardeaux et canal
  - Autres ouvrages (indiquer lesquels)
- c) Capacité de dérivation
- d) Type de batardeau
- e) Méthode utilisée pour le choix du débit de dérivation
- f) Nombre de fois et nombre de jours où le débit de la rivière a dépassé la capacité de dérivation, pendant la construction du barrage
- g) Débit de la rivière, en pourcentage par rapport à la capacité de dérivation, observé pendant les jours indiqués en f)

**6) Autres informations**

- a) Une submersion est-elle possible dans des conditions exceptionnelles et anormales ?  
Oui                      Non
- b) Existe-t-il des digues fusibles comme évacuateur de crue de secours ?  
Oui                      Non
- c) Des travaux d'entretien sont-ils effectués sur les évacuateurs de crue et autres ouvrages d'évacuation ?  
Oui                      Non  
Si oui, nombre de fois
- d) Une modification des évacuateurs de crue ou autres ouvrages d'évacuation a-t-elle été nécessaire après l'achèvement de la construction du barrage ?  
Oui                      Non  
Si oui,
- e) Raisons de cette modification
- f) Mesures adoptées
  - Augmentation de la capacité de retenue
  - Modification du système d'exploitation

- b) Situation (crest, side, saddle, etc.)
- c) Controlled or uncontrolled
- d) Gates: number and dimensions
- e) Gate type (roller gate, fixed wheel gate, radial, etc.)
- f) Sources of energy supply

**5) River control during dam construction**

- a) Time for completion dam construction
- b) Diversion type adopted
  - Cofferdams and tunnel
  - Cofferdams and channel
  - Others (say which)
- c) Diversion capacity
- d) Cofferdam type
- e) Method used for the diversion flow selection
- f) Number of times and days in which the inflow of the river was bigger than the diversion capacity, during dam construction
- g) River flow, as percentage over the diversion capacity, in the days said in f)

**6) Other information**

- a) It is possible overtopping in extreme and abnormal conditions?
 

Yes	No
-----	----
- b) Are there fuse plugs as emergency spillway?
 

Yes	No
-----	----
- c) Do you do maintenance work in spillways and outlets?
 

Yes	No
-----	----

If yes, how often.
- d) Has it been necessary to modify spillways or outlets after finish dam construction?
 

Yes	No
-----	----

If yes,
- e) Reasons why
- f) Adopted measures:
  - More storage capacity
  - Changes in the operation system

- Construction d'un nouvel évacuateur de crue
- Modification du barrage pour permettre sa submersion
- Autres mesures

**7) Coûts**

- a) Coût des évacuateurs de crue et autres ouvrages d'évacuation, en pourcentage du coût total de construction du barrage (à l'exclusion du coût des études techniques, indemnités, achat de terrains)
- b) Coût de la maîtrise de la rivière pendant la construction, en pourcentage du coût total de construction du barrage (à l'exclusion du coût des études techniques, indemnités, achat de terrains)
- c) Coût annuel des travaux d'entretien des évacuateurs de crue et autres ouvrages d'évacuation en cours d'exploitation, en \$ US et heures de travail
- d) Coût des travaux de modification des évacuateurs de crue et autres ouvrages d'évacuation (\$ US)

- Construction of new spillway
- Modification in the dam to allow overtopping
- Other

**7) Costs**

- a) Cost of spillways and outlets as percentage over total dam construction cost (without engineering, compensations, and land cost)
- b) Cost of river control during dam construction as percentage over total dam construction cost (without engineering, compensations and land cost)
- c) Annual cost of spillways and outlets maintenance during dam operation in US \$ and worked hours
- d) Cost of modification works of the spillways and outlets (US \$)

---

## ANNEXE II

---

### ANALYSE DES INFORMATIONS REÇUES

Les informations reçues sont analysées dans l'ordre suivant : tout d'abord, celles concernant la maîtrise des crues en cours d'exploitation, puis celles relatives à la maîtrise de la rivière pendant la construction.

Dans chacune de ces périodes, on analyse séparément les barrages en béton et les barrages en remblai, chacun de ces types de barrage ayant, en général, un comportement différent vis-à-vis des crues.

Les informations fournies sur des barrages espagnols étant notablement plus nombreuses que celles concernant des barrages d'autres pays, l'analyse est séparée en deux parties : l'une pour les barrages espagnols et l'autre pour les barrages des autres pays : Brésil, Grande-Bretagne, Maroc, Corée, Russie, Japon et Yougoslavie.

Dans les informations reçues, on constate que des réponses n'ont pas toujours été données à toutes les questions posées. Il en résulte que, dans les Tableaux, la somme des données partielles figurant dans les colonnes est généralement inférieure au nombre total des barrages.

Dans le Tableau concernant l'emplacement de l'évacuateur de crue, en se référant au total des évacuateurs de crue, la somme partielle peut être supérieure au nombre de barrages, certains barrages étant équipés de plusieurs déversoirs.

#### 1. OUVRAGES D'ÉVACUATION

##### 1.1. Barrages en béton

###### 1.1.1. Analyse des informations reçues - Barrages espagnols

Les informations reçues concernent 161 barrages, dont 74 furent mis en service avant 1960, 65 entre 1960 et 1980, et 22 après 1980.

Dans le Tableau 3, les données relatives à la détermination de la crue de projet sont résumées.

En ce qui concerne les barrages construits avant 1960, les méthodes utilisées pour le calcul de la crue de projet sont indiquées pour seulement 24 d'entre eux : formules empiriques pour 9 barrages ; méthodes statistiques, avec crue de période de retour de 500 ans, pour 11 barrages ; méthodes historiques (collecte de données) pour 3 barrages ; crue centennale pour un barrage.

Pour les barrages construits entre 1960 et 1980, il y a des données sur 23 barrages : formules empiriques pour 13 barrages ; méthodes statistiques, avec crue

---

## APPENDIX II

---

### ANALYSIS OF THE INFORMATION RECEIVED

The information received, concerning with flood control during operation, is analysed in the first place, and afterwards, those related to the river control during construction.

In each one of the cases are analysed separately concrete dams and embankment dams, because the behaviour of one or other type will, in general, be different in the face of floods.

Taking into account that the information received of Spanish dams is notably greater than that of the dams of other countries, the analysis is separated in two parts, one for Spanish dams and the other for dams from Brazil, Great Britain, Morocco, Korea, Russia, Japan and Yugoslavia.

In the information received, the total of the data requested in the survey is not answered in all the cases. It is for this reason that, in the Tables, the sum of the partial data, in the columns is usually less than the total of the dams.

In the Table corresponding to the situation of the spillway, on referring to the total of spillways and not of the dams, and some dams being equipped with more than one overflow spillway, the partial sum can be greater than the total number of dams.

#### **1. SPILLWAYS AND OUTLETS.**

##### **1.1. Concrete dams.**

###### *1.1.1. Results of the information received. Spanish dams*

Information is available of 161 dams of which 74 entered into service before 1960, 65 between 1960 and 1980, and 22 after 1980.

In Table 3 the data related to the determination of the Design flood is summarized.

Of the dams constructed before 1960, there are information of the method used in order to determine the Design flood only in 24 of them. Among these 24, in 9 of them the Design flood has been determined by way of empirical formulas, in 11 by statistical methods in which the Design flood corresponds to a return period of 500 years, in three cases historical methods were employed (collection of data), and in one case the flood of 100 years.

Among those constructed between 1960 and 1980, there are data of 23 dams, and of these in 13 empirical formulas were employed, in 7 the flood with a return



**Tableau 3**  
**Barrages en béton espagnols - Détermination de la crue de projet**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
NOMBRE DE BARRAGES		74	65	22
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CRUE DE PROJET	Formules empiriques	9	13	3
	Méthodes statistiques (période de retour : 5 000 ans)			
	Méthodes statistiques (période de retour : 1 000 ans)			
	Méthodes statistiques (période de retour : 100 ans)	1		1
	Méthodes statistiques (période de retour : 500 ans)	11	7	6
	Méthodes historiques. Collecte de données	3	3	1
	Crue maximale probable (PMF)			

de période de retour de 500 ans, pour 7 barrages ; méthodes historiques pour 3 barrages.

Pour les barrages construits après 1980, les informations fournies concernent 11 barrages : méthodes statistiques, avec crue de période de retour de 500 ans, pour 6 barrages ; formules empiriques pour 3 barrages ; méthodes historiques (collecte de données) pour un barrage ; crue centennale pour un barrage.

La plupart des cas signalés indiquent une crue de période de retour de 500 ans ; cela est dû au fait que les règlements espagnols en vigueur jusqu'en 1994 prescrivaient cette crue.

Le Tableau 4 indique les caractéristiques principales des évacuateurs de crue : capacité d'évacuation, situation par rapport au barrage et conditions d'exploitation (avec vannes ou sans vannes).

Pour chacun des trois groupes de barrages classés par époque d'achèvement, le Tableau fait ressortir les évacuateurs dont la capacité est inférieure à 500 m<sup>3</sup>/s et ceux dont la capacité est comprise entre 1 000 et 10 000 m<sup>3</sup>/s.

La plupart des évacuateurs analysés sont situés sur la crête du barrage ; on constate également qu'un nombre important d'évacuateurs, principalement pour la période d'achèvement antérieure à 1960, sont implantés sur un appui du barrage.

Dans le cas des évacuateurs de crue des barrages achevés avant 1960, le nombre de ceux équipés de vannes est légèrement plus élevé, ce nombre étant notablement plus grand pour la période d'achèvement 1960-1980, et le même que celui des évacuateurs sans vannes pour la période d'achèvement postérieure à 1980.

**Table 3**  
**Spanish concrete dams - Determination of the design flood**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
NUMBER OF DAMS		74	65	22
METHOD EMPLOYED IN ORDER TO DETERMINE THE DESIGN FLOOD	Empirical formulas	9	13	3
	Statistical methods 5 000 years			
	Statistical methods 1 000 years			
	Statistical methods 100 years	1		1
	Statistical methods 500 years	11	7	6
	Historical methods. Data collection	3	3	1
	Probable maximum flood			

period of 500 years and in three historical methods.

In those constructed after 1980, there are data referring to 11 dams, and of these 11, in 6 was employed as the design flood that determined by statistical methods with a return period of 500 years, in three empirical formulas, in one historical methods (collection of data) and in another the flood with a return period of 100 years.

The reason for which a majority of cases with floods of 500 year return period is detected, is due to the fact that the Spanish regulations in force up to 1994 stipulated this flood.

In Table 4 the principal characteristics of the spillways are indicated in as far as their capacity, location with reference to the dam and conditions of operation, that is to say, if it is uncontrolled or controlled with gates.

In the information received, both for dams constructed before 1960, and for those constructed between 1960 and 1980 or later than 1980, the spillways with capacity for less than 500 m<sup>3</sup>/s, and those whose capacity varies between 1 000 and 10 000 m<sup>3</sup>/s stand out.

The greater part of the spillways analysed are located on the crest of the dam, it also being significant the number of those which, above all for those previous to 1960, are situated on an abutment of the dam itself.

In the case of the spillways of dams prior to 1960, the number which are equipped with gates is slightly greater, whilst in those constructed between 1960 and 1980, those which are controlled by gates are notably greater in number, and in those constructed after 1980, the number of those equipped with gates is the same as the dams with uncontrolled spillways.

**Tableau 4**  
**Barrages en béton espagnols**  
**Caractéristiques principales des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
SITUATION DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE	Crête du barrage	44	58	22
	Sur un col latéral	6		
	Sur un appui	24	6	2
	À mi-profondeur		1	
CRUE DE PROJET (m <sup>3</sup> /s)	< 500	37	28	10
	500-1 000	13	10	4
	1 000-10 000	23	25	8
	> 10 000	1	2	
AVEC VANNES		40	54	11
SANS VANNES		34	12	11

Malgré le nombre peu élevé de barrages sur lesquels portent les informations fournies, la conclusion que l'on peut tirer quant à l'emplacement de l'évacuateur de crue est logique, puisque, dans le cas des barrages en béton, l'évacuateur situé sur la crête du barrage est la solution la plus économique.

Il est également logique que, dans la catégorie des barrages en béton, le nombre d'évacuateurs de crue équipés de vannes soit plus grand que celui des évacuateurs à seuil libre, car, du point de vue de la sécurité, en cas de panne électrique ou mécanique empêchant l'ouverture des vannes, une submersion éventuelle ne provoque pas, dans de nombreux cas, la destruction du barrage et, du point de vue du coût, il s'agit d'une solution économique.

Le Tableau 5 résume les informations relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue.

En ce qui concerne l'exploitation des vannes, parmi les barrages sur lesquels des informations ont été données à ce sujet, la plus grande partie de ceux achevés avant 1960, et entre 1960 et 1980, ont des évacuateurs équipés de vannes avec possibilité de fonctionnement électrique et manuel ; tous les barrages achevés après 1980 ont également des évacuateurs équipés de vannes avec fonctionnement électrique et manuel. Les informations reçues sur ce point concernent beaucoup de barrages équipés de vannes.

Il faut également signaler que, parmi les barrages achevés avant 1960 et équipés de vannes, 9 ont des vannes automatiques, et, parmi ceux achevés entre 1960 et 1980, un seul est équipé de vannes automatiques ; aucun barrage achevé après 1980 ne possède de vannes de ce type.

Des informations reçues, on peut déduire que l'utilisation de vannes automatiques semble décroître en Espagne, ce qui peut traduire un manque de confiance dans les dispositifs automatiques appliqués aux vannes d'un évacuateur de

**Tableau 4**  
**Spanish concrete dams**  
**Principal characteristics of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
LOCATION OF SPILLWAY	Top of the dam	44	58	22
	Side saddle	6		
	Side abutment	24	6	2
	Middle depth		1	
DESIGN FLOOD (m <sup>3</sup> /s)	< 500	37	28	10
	500-1 000	13	10	4
	1 000-10 000	23	25	8
	> 10 000	1	2	
WITH GATES		40	54	11
WITHOUT GATES		34	12	11

In spite of the fact that the available information refers to a not excessive number of dams, the conclusion that appears to be deduced in relation to the location of the spillway is logical, since, dealing with concrete dams, the spillway on the crest of the dam is usually the most economical solution.

It is also logical that, dealing with concrete dams, the number of spillways controlled with gates is greater than that of dams equipped with uncontrolled spillways, since, in relation to safety, in the face of an electrical or mechanical failure which impedes the opening of the gates, an eventual overtopping does not provoke in many cases, the destruction of the dam, and from an economic point of view, it is usually an advantageous solution.

In Table 5 the characteristics related with the exploitation and the cost are summarized.

In relation to the operation of gates, among the dams that supply information on this theme in the survey, the greater part of those constructed before 1960, and between 1960 and 1980 have the possibility of electrical and manual operation and the totality of the dams constructed after 1980, have also electrical and manual operation. The information received on this point refers to many of the dams equipped with gates.

It is to be pointed out that among the dams prior to 1960 equipped with gates there are 9 with some automatic gate, of those constructed between 1960 and 1980 only 1 is equipped with automatic gates and in those after 1980 none is fitted with automatic gates.

As can be deduced on the basis of the information received, the use of automatic gates appears to be decreasing in Spain, which could indicate a lack of confidence in the use of automation in an element so important as the gates of a

**Tableau 5**  
**Barrages en béton espagnols**  
**Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
FONCTIONNEMENT DES VANNES	Automatique	9	1	
	Électrique et manuel	25	36	8
SOURCES D'ÉNERGIE	Deux lignes électriques	3	1	1
	Ligne électrique et groupe électrogène	11	20	3
	Une seule ligne électrique	5	4	1
	Diverses lignes électriques et groupe électrogène	3	6	2
SUBMERSION ADMISE	OUI	1	8	3
	NON	73	57	19
EXISTE-T-IL DES ÉVACUATEURS TYPE DIGUE FUSIBLE?	OUI			
	NON	74	65	22
UN ENTRETIEN EST EFFECTUÉ	OUI	56	46	15
	NON	18	19	7
DES MODIFICATIONS ONT-ELLES ÉTÉ NÉCESSAIRES?	OUI	8	5	2
	NON	66	60	20
% DU COÛT DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3	2	1	1
	3-7		8	6
	7-10		4	1
	> 10	6	11	6

crue qui est un organe primordial pour la sécurité du barrage. En période de crue, il est logique de penser que, très souvent, les conditions climatiques sont très défavorables sur le site d'un barrage et que, de ce fait, on ne peut avoir totalement confiance dans les vannes automatiques.

En général, les vannes sont alimentées à partir d'au moins deux sources d'énergie électrique, la présence d'un groupe électrogène étant très courante.

**Tableau 5**  
**Spanish concrete dams**  
**Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
OPERATION OF GATES	Automatic	9	1	
	Electrical and manual	25	36	8
SOURCES OF ENERGY	Two power lines	3	1	1
	Power line and generating set	11	20	3
	Only one power line	5	4	1
	Various power lines and generating set	3	6	2
OVERTOPPING ADMITTED	YES	1	8	3
	NO	73	57	19
DO FUSE PLUG SPILLWAYS EXIST	YES			
	NO	74	65	22
MAINTENANCE IS CARRIED OUT	YES	56	46	15
	NO	18	19	7
HAVE MODIFICATIONS BEEN NECESSARY	YES	8	5	2
	NO	66	60	20
% OF COST OF THE SPILLWAY OVER THE TOTAL	< 3	2	1	1
	3-7		8	6
	7-10		4	1
	> 10	6	11	6

spillway in relation to the safety of the dam. In flood periods it is logical to think that, in many cases, the climatic conditions in the damsite will be very unfavourable, which means that the automation could be unreliable in these extreme situations.

In general they are equipped with more than one source of supply of electric power, it being very common that they have a generating set.

La possibilité de submersion est admise sur 1 barrage parmi ceux achevés avant 1960, sur 8 parmi ceux achevés entre 1960 et 1980, et sur 3 parmi ceux achevés après 1980.

Sur la grande majorité des barrages équipés de vannes, l'entretien est exécuté plus ou moins fréquemment. Dans les réponses à l'enquête, il est également indiqué que des travaux d'entretien sont effectués systématiquement sur quelques barrages sans vannes.

Il a été nécessaire d'apporter des modifications sur les ouvrages d'évacuation de 8 barrages achevés avant 1960, de 5 barrages mis en service entre 1960 et 1980, et de 2 barrages achevés après 1980.

En ce qui concerne les coûts, les informations reçues ne portent que sur 8 barrages achevés avant 1960, le coût de l'évacuateur de crue pour 6 d'entre eux représentant plus de 10 % du coût total du barrage (à l'exclusion du coût des études techniques et des indemnités). Parmi ceux mis en service entre 1960 et 1980, les informations reçues concernent 24 barrages, le coût de l'évacuateur de crue pour 11 d'entre eux dépassant 10 % du coût total du barrage, et étant compris entre 3 et 7 % pour 8 autres. Parmi les barrages achevés après 1980, les informations disponibles concernent 14 barrages, le coût de l'évacuateur de crue pour 6 d'entre eux dépassant 10 % du coût total du barrage, et étant compris entre 3 et 7 % pour 6 autres.

Abstraction faite de la période de construction, on peut constater que, pour la moitié des barrages sur lesquels on dispose de renseignements relatifs aux coûts (barrages en béton, cela va de soi), le coût de l'évacuateur de crue est supérieur à 10 % du coût total du barrage.

Il est nécessaire de mieux préciser les informations disponibles sur le coût de l'évacuateur de crue de ces barrages. En effet, dans le cas des barrages mobiles, une part très importante du coût du barrage est imputable à l'évacuateur ; par contre, pour un barrage-voûte, ayant une fondation de bonne qualité, où un déversoir à seuil libre peut être implanté sur la crête du barrage, le coût de l'évacuateur par rapport au coût total du barrage est en général faible, principalement s'il s'agit d'un barrage de hauteur relativement grande, avec un petit bassin versant conduisant à de faibles crues.

### *1.1.2. Analyse des informations reçues - Barrages non espagnols*

Les informations reçues concernent 47 barrages de 7 pays, 6 de ces barrages ayant été mis en service avant 1960, 23 entre 1960 et 1980, et 18 après 1980.

Pour ce qui est des méthodes utilisées pour la détermination de la crue de projet, les informations portent sur seulement 5 barrages achevés avant 1960, 12 entre 1960 et 1980, et 11 après 1980.

Les informations sont données dans le Tableau 6.

Comme on peut le constater, les informations disponibles ne sont pas suffisamment nombreuses pour permettre de tirer des conclusions, mais, parmi les

The possibility of overtopping is admitted in 1 dam of those prior to 1960, in 8 of those constructed between 1960 and 1980, and 3 of those after 1980.

In the dams with gates maintenance is carried out, more or less frequently, in the great majority of these. Also it is indicated in the survey that systematic maintenance works are carried out in some dams without gates.

It has been necessary to introduce modifications in the outlet elements in 8 dams prior to 1960, 5 of those which entered in service between 1960 and 1980, and in 2 after 1980.

In relation to the costs, there are information only about from 8 dams prior to 1960, in 6 of which the cost of the spillway represents more than 10% of the total cost of the dam (without including the cost of engineering nor of indemnities). Of those which entered into service between 1960 and 1980 there are information of 24 dams, in which in 11 of these the cost of the spillway surpassed 10% of the total and in 8 it was comprised of between 3 and 7 per cent. Of the dams after 1980, the information available refers to 14 dams of which 6 have had a cost of spillway greater than 10% of the total cost, and another six a cost comprised of between 3 and 7 per cent.

Is may be observed, disregarding the time of construction, that in half the dams with information respect to costs (concrete dams, it is understood), the cost of the spillway is superior to 10% of the total cost.

It is necessary to make more precise the information available on the cost of the spillway of these dams, since, in the barrages or gate-structure dams, for example, one very important part of the cost of the dam is attributable to the spillway, whilst in an arch dam, with good foundations which permits the location of an uncontrolled spillway on the crest of the dam, the cost of the spillway in relation to the total cost of the dam could be very small, above all if it deals with a relatively high dam and with a relatively small catchment area, which, as a consequence, also gives rise to a small flood volume.

#### *1.1.2. Results of the information received. Non Spanish dams.*

Information is available of 47 dams of 7 countries of which 6 entered into service from before 1960, 23 between 1960 and 1980, and 18 after 1980.

As far as the methods employed for the determination of the Design flood are concerned, there are information on only 5 dams prior to 1960, 12 of which entered into service between 1960 and 1980 and 11 of those after 1980.

The information can be observed in the Table 6

As can be observed, the information available is minimum for obtaining conclusions, but among the dams from which there are answers to the survey on



barrages sur lesquels on dispose de renseignements, les méthodes statistiques, avec une crue de période de retour courte (~ 100 ans), prédominant.

**Tableau 6**  
**Barrages en béton non espagnols - Détermination de la crue de projet**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
NOMBRE DE BARRAGES		6	23	18
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CRUE DE PROJET	Formules empiriques			6
	Méthodes statistiques (période de retour : 10 000 ans)	1		
	Méthodes statistiques (période de retour : 100 ans)	4	8	5
	Méthodes historiques. Collecte de données		4	
	Crue maximale probable (PMF)			

Le Tableau 7 donne les caractéristiques principales des évacuateurs de crue : capacité d'évacuation, situation par rapport au barrage et conditions d'exploitation (avec vannes ou sans vannes).

**Tableau 7**  
**Barrages en béton non espagnols**  
**Caractéristiques principales des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
SITUATION DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE	Crête du barrage	4	20	15
	Sur un col latéral		1	
	Sur un appui		2	
CRUE DE PROJET (m <sup>3</sup> /s)	< 500	1	2	2
	500-1 000		2	4
	1 000-10 000	5	14	10
	> 10 000		5	2
AVEC VANNES		5	21	14
SANS VANNES		1	2	4

this theme, the statistical methods predominate with a small return period (~ 100 years).

**Table 6**  
**Non Spanish concrete dams - Determination of the design flood**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
NUMBER OF DAMS		6	23	18
METHOD EMPLOYED IN ORDER TO DETERMINE THE DESIGN FLOOD	Empirical formulas			6
	Statistical methods 10 000 years	1		
	Statistical methods 100 years	4	8	5
	Historical methods. Data collection		4	
	Probable maximum flood			

In Table 7 are indicated the principal characteristics of the spillways as far as capacity is concerned, location with relation to the dam and conditions of operation, that is to say, if it is uncontrolled or if it is controlled by gates.

**Tableau 7**  
**Non Spanish concrete dams**  
**Principal characteristics of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
LOCATION OF SPILLWAY	Top of the dam	4	20	15
	Side saddle		1	
	Side abutment		2	
DESIGN FLOOD (m <sup>3</sup> /s)	< 500	1	2	2
	500-1 000		2	4
	1 000-10 000	5	14	10
	> 10 000		5	2
WITH GATES		5	21	14
WITHOUT GATES		1	2	4

Pour chacun des trois groupes de barrages classés par époque d'achèvement, le Tableau fait ressortir les évacuateurs de crue dont la capacité est supérieure à 1 000 m<sup>3</sup>/s. Cela traduirait que les informations reçues de ces pays concernent des barrages importants, bien que, dans plusieurs cas, la crue maximale ait été déterminée avec une période de retour relativement courte.

La plus grande partie des évacuateurs analysés sont situés sur la crête du barrage.

En général, le nombre de barrages dont les évacuateurs sont contrôlés par des vannes est notablement plus grand que celui des barrages avec déversoir à seuil libre.

Bien que les informations disponibles ne concernent qu'un nombre réduit de barrages, on peut conserver les conclusions tirées de l'analyse des barrages espagnols et concernant l'emplacement de l'évacuateur de crue, puisque, dans le cas des barrages en béton, l'évacuateur situé sur la crête du barrage est généralement la solution la plus économique.

On peut également confirmer que, pour les barrages en béton, le nombre d'évacuateurs de crue contrôlés par des vannes est bien plus grand que celui des déversoirs à seuil libre.

Le Tableau 8 résume les informations relatives à l'exploitation et au coût.

En ce qui concerne l'exploitation des vannes, tous les barrages sur lesquels des informations ont été données à ce sujet ont des évacuateurs équipés de vannes avec possibilité de fonctionnement électrique et manuel.

Aucun barrage n'est équipé de vannes automatiques.

La possibilité de submersion est admise pour un grand nombre de barrages, ce qui est logique dans le cas de barrages en béton.

L'information relative à l'entretien est surprenante : selon les réponses à l'enquête, il n'y a pas d'entretien sur un nombre important de barrages équipés de vannes. Il doit y avoir un problème d'interprétation de la question formulée dans l'enquête, car il n'est pas logique qu'aucun entretien ne soit effectué sur du matériel électromécanique tel qu'une vanne.

Il a été nécessaire d'apporter des modifications sur les ouvrages d'évacuation de trois barrages.

En ce qui concerne les coûts, les informations reçues concernent 35 barrages, le coût de l'évacuateur de crue pour 11 d'entre eux représentant plus de 10 % du coût total du barrage (à l'exclusion du coût des études techniques et des indemnités), et étant compris entre 3 et 7 % pour 13 autres.

Les constatations faites sur le coût des évacuateurs de crue, à propos des barrages espagnols, sont applicables aux barrages non espagnols traités dans le présent paragraphe.

In the information received, as much as for dams constructed before 1960, as between 1960 and 1980 or after 1980, the spillways with capacity greater than 1 000 m<sup>3</sup>/s stand out. This would appear to indicate that the information received from these countries refers to dams which could be considered to be outstanding or important, in spite of that in many cases, the return period with which the maximum flood was estimated is small.

The greater part of the spillways analysed are situated on the crest of the dam.

In general, the number of dams whose spillways are controlled by gates is notably greater, than the number equipped with uncontrolled spillways.

Although the information available refers to a limited number of dams, it is possible to maintain the conclusions commented on when dealing with the Spanish dams, relative to the location of the spillway, since on referring to concrete dams, the spillway on the crest of the dam is usually the most economical solution.

Also it is possible to maintain that for concrete dams, the number of spillways controlled by gates is very much greater than that of uncontrolled spillways.

In Table 8 the characteristics related to the exploitation and the cost are summarized.

In relation to the operation of gates, all the dams that in the survey supply information on this matter, have the possibility of electrical and manual operation.

No dam is equipped with automatic gates.

The possibility of overtopping is admitted in a great number of dams, something logical on dealing with concrete dams.

The information with reference to the maintenance is surprising, according to which in a considerable number of cases of dams with gates, according to the answers to the survey received, there is no maintenance. There must be some problem of interpretation of the question formulated in the survey, since it does not appear logical that no maintenance is carried out on electromechanical equipment such as the gates.

It has been necessary to introduce modifications in the outlet elements of three dams.

In relation to the costs, there are information from 35 dams, in 11 of which the cost of the spillway represents more than 10% of the total cost of the dam (without including the cost of engineering nor of indemnities) and in 13 of these it is comprised of between 3 and 7 per cent.

The elaboration carried out on dealing with Spanish dams, in regard to the cost of spillways, is applicable also to non Spanish dams included in this section.

**Tableau 8**  
**Barrages en béton non espagnols**  
**Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
FONCTIONNEMENT DES VANNES	Électrique et manuel	5	21	13
SOURCES D'ÉNERGIE	Ligne électrique et groupe électrogène	1	7	3
	Une seule ligne électrique	3	13	9
	Diverses lignes électriques et groupe électrogène	1	1	1
SUBMERSION ADMISE	OUI	2	6	13
	NON	4	17	15
EXISTE-T-IL DES ÉVACUATEURS TYPE DIGUE FUSIBLE ?	OUI		4	
	NON	6	19	18
UN ENTRETIEN EST EFFECTUÉ	OUI	3	9	9
	NON	3	14	9
DES MODIFICATIONS ONT-ELLES ÉTÉ NÉCESSAIRES ?	OUI	8	5	2
	NON	6	20	18
% DU COÛT DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3	2	2	2
	3-7	1	5	7
	7-10		1	4
	> 10	2	6	3

### 1.1.3. Modifications des ouvrages d'évacuation de barrages en béton

L'analyse des informations reçues et relatives aux modifications apportées à des ouvrages d'évacuation de barrages en béton, tant en Espagne que dans d'autres pays, montre que sur sept barrages ces modifications ont concerné des ouvrages de vidange de fond. Dans quatre cas, d'importantes réparations ont été effectuées sur les vannes, les vannes ayant même dû être remplacées par d'autres plus modernes dans quelques cas.

Sur deux barrages anciens, des ouvrages de vidange de fond ont été construits, de tels ouvrages n'ayant pas été prévus à l'origine ; dans deux autres cas,

**Table 8**  
**Non Spanish concrete dams**  
**Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
OPERATION OF GATES	Electrical and manual	5	21	13
SOURCES OF ENERGY	Power line and generating set	1	7	3
	Only one power line	3	13	9
	Various lines and generating set	1	1	1
OVERTOPPING ADMITTED	YES	2	6	13
	NO	4	17	15
DO FUSE PLUG SPILLWAYS EXIST	YES		4	
	NO	6	19	18
MAINTENANCE IS CARRIED OUT	YES	3	9	9
	NO	3	14	9
HAVE MODIFICATIONS BEEN NECESSARY	YES	8	5	2
	NO	6	20	18
% OF COST OF SPILLWAY OVER THE TOTAL	< 3	2	2	2
	3-7	1	5	7
	7-10		1	4
	> 10	2	6	3

*1.1.3. Modifications of the outlet elements in concrete dams.*

From the analysis of the information received, related to the modifications introduced in the outlet elements of the concrete dams referring as much to Spanish dams as to those of other countries, in seven dams the modifications have affected the bottom outlets. Of these, in four cases important repairs in the valves have been carried out, even in some cases having to substitute the valves for other more modern ones.

In the case of two old dams, bottom outlets have been constructed as they were not equipped with them, and in another two cases the reason for the repair has been

l'envasement des entrées des vidanges de fond a nécessité des réparations. Dans un cas, un dragage des sédiments déposés a été exécuté et, dans un autre cas, les vidanges de fond existantes ont été abandonnées et de nouveaux évacuateurs construits à un niveau plus élevé.

Sur cinq barrages, de petites modifications ont été réalisées, consistant essentiellement à surélever les vannes des évacuateurs de crue pour augmenter légèrement la capacité de retenue, cela étant motivé dans quelques cas par un renforcement de la puissance installée des usines hydroélectriques associées aux barrages en question.

Pour trois barrages où la surélévation a été plus importante que dans les cas précités d'augmentation de capacité de retenue, il a été nécessaire de construire de nouveaux évacuateurs de crue. Seul pour l'un de ces cas l'investissement est donné : il a atteint 3 200 000 \$ US, soit 15 % de la valeur totale du barrage.

Dans deux cas, on a dû modifier l'évacuateur de crue en vue d'améliorer son fonctionnement hydraulique. Dans l'un de ces cas, l'évacuateur en saut de ski a été réparé. Dans l'autre cas, un évacuateur en galerie a été mis hors service pour des problèmes de sécurité (lors du premier fonctionnement de cet évacuateur, d'importantes chutes de roche se produisirent dans la galerie). Dans ce barrage, l'extrémité de l'évacuateur en saut de ski a été amélioré.

Dans un autre cas, il a été nécessaire de réparer le portique de manoeuvre des vannes de l'évacuateur de crue, par suite du vieillissement du béton. Enfin, des informations ont été fournies sur un barrage où on a dû construire un nouvel évacuateur de crue, celui initialement construit, qui était certes suffisant pour l'évacuation des crues, provoquant à sa sortie l'inondation de l'usine hydroélectrique pour des débits nettement inférieurs à sa capacité maximale.

En résumé, on peut indiquer que, dans la majorité des cas cités, les modifications apportées à des ouvrages d'évacuation sont : une modernisation du matériel d'équipement (vannes de vidanges de fond, par exemple) ; de légères surélévations des vannes de l'évacuateur de crue, résultant d'un changement dans l'exploitation de la retenue ayant conduit à une petite modification du niveau maximal de la retenue ; dans d'autres cas, des corrections d'erreurs de conception dans les ouvrages d'évacuation.

#### *1.1.4. Commentaires sur les informations relatives aux coûts des ouvrages d'évacuation de barrages en béton (barrages d'Espagne et d'autres pays)*

En général, pour les barrages en béton (barrages-poids et barrages-voûtes), le coût des ouvrages d'évacuation (évacuateurs de crue et vidanges de fond) peut être estimé à un taux ne dépassant pas 10 % du coût total du barrage, à l'exclusion des coûts des indemnités et des études techniques.

Cependant, il existe quelques cas où, d'après les informations reçues, le coût de l'évacuateur de crue a dépassé ce pourcentage. Pour certains de ces cas, cela est dû au fait qu'on a inclus dans le coût d'importantes modifications apportées ultérieurement.

the silting up of the inlet or intake zone of the outlets. In one case a dredging of the deposited materials has been carried out, and in another the existing outlets have been abandoned, constructing new ones at a higher level.

In five dams small modifications were introduced consisting fundamentally in raising the spillway gates, for slight increases in the capacity of the reservoirs, motivated in many cases by enlargements of the installed capacity in hydroelectric power stations related to the dams to which we have referred.

In three dams, in those which were increased in a more important manner than in the cases previously commented of reservoir capacity, it was necessary to construct new spillways. Only in one of these cases is cited the investment carried out which reached 3 200 000 US\$ that could be the equivalent of 15% of the total value of the dam.

In two cases it has been necessary to modify the spillway in order to improve its hydraulic operation, repairing the skijump spillway in one of them, and putting out of action a spillway in tunnel in the other, for conditions of safety since the first time the spillway was used, relatively important falls of rock were caused in the tunnel. In this dam the final part of the skijump of the overflow spillway was improved.

In another case, it was necessary to repair the travelling gantry of the spillway gates, for problems of ageing of the concrete, and finally, there is information of another dam in which it was necessary to construct a new spillway since that initially foreseen, in spite of being sufficient for the discharge of floods, provoked, in its outlet, the inundation of the hydroelectric power station for volumes of flow notably less than its maximum capacity.

As a summary of the information received with reference to this theme, in the majority of the cases the modifications introduced in the outlet elements refer to modernization of the equipment (bottom outlet valves, for example), or to modifications in the operation of the reservoir which introduced small variations in the maximum level of the reservoir, which obliged small heightenings in the spillway gates, and in other cases to corrections of design defects of the outlet elements themselves.

#### *1.1.4. Commentaries on the information relative to costs of the outlet elements of the concrete dams, Spanish and of other countries.*

In general, in concrete dams, both gravity and arch dams, the cost of the outlet elements (spillway and bottom outlets) can be estimated to be no more than 10% of the total cost of the work, without including the costs of indemnities or engineering.

There exist, nevertheless, some cases in which, according to the information received the cost of the spillway has exceeded this percentage. In some of them this cost is due to the fact that in it have been included later important modifications.



Dans d'autres cas où l'évacuateur de crue représente 30 à 40 % du coût total du barrage, il s'agit de barrages mobiles, c'est-à-dire de barrages dans lesquels les vannes de l'évacuateur de crue contrôlent une hauteur d'eau correspondant à au moins 30 % de la hauteur totale du barrage.

Dans les barrages de ce type, situés sur les cours inférieurs des rivières où les crues sont très fortes, l'évacuateur de crue, dont le coût représente 30 à 40 % du coût total, est l'élément fondamental à prendre en compte dans le projet du barrage.

Dans la mesure où intervient un coût d'entretien consistant généralement en des révisions annuelles, avec lubrification et remplacement des pièces usées, et en des révisions plus légères tous les 3 ou 4 mois, il faut compter entre 200 et 500 hommes-heures par an. Les coûts correspondants sont nettement plus variables, compris en général entre 5 000 et 20 000 \$ US par an, ces chiffres étant dépassés dans certains cas.

D'après les informations reçues, on peut estimer la durée moyenne d'entretien préventif des ouvrages d'évacuation à environ 300 hommes-heures, représentant un coût de l'ordre de 15 000 \$ US.

## 1.2. Barrages en remblai

### 1.2.1. Analyse des informations reçues - Barrages espagnols

Le Tableau 9 résume les informations reçues au sujet des méthodes utilisées pour le calcul de la crue de projet ayant servi à l'optimisation du dimensionnement des ouvrages d'évacuation des barrages en remblai.

**Tableau 9**  
**Barrages en remblai espagnols - Détermination de la crue de projet**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
NOMBRE DE BARRAGES		14	13	20
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CRUE DE PROJET	Formules empiriques	3		3
	Méthodes statistiques (période de retour : 5 000 ans)			
	Méthodes statistiques (période de retour : 10 000 ans)			
	Méthodes statistiques (période de retour : 100 ans)		1	
	Méthodes statistiques (période de retour : 500 ans)		2	4
	Méthodes historiques. Collecte de données	1	1	5
	Crue maximale probable (PMF)			

In other cases in which the spillway represents from 30% to 40% of the total cost of the dam, it is in those which could be considered to be barrages or gate-structure dams, that is to say, in those which are controlled by spillway gates at least 30 % of the total height of the dam.

In these cases, of dams constructed in the lower channels of the rivers, with large flood flows, the spillway, although it is considered that its cost represents 30% to 40% of the total cost, is in reality the fundamental factor to consider in the design of the dam.

As far as the cost of maintenance is concerned, that usually consists of an annual revision, with lubrication and replacement of worn parts, and lesser revisions every 3 or 4 months, it will require between 200 and 500 man hours per year. The costs assigned, in US\$ are very much more variable, varying in general between 5 000 and 20 000 US\$ per year, although in some isolated case these figures are exceeded.

It may be estimated, in accordance with the information received, as mean costs of preventive maintenance of the outlet elements some 300 man-hours per year, with a cost of 15 000 US\$.

## 1.2. Embankment dams

### 1.2.1. Results of the information received. Spanish Dams

In Table 9 the information received is indicated referring to the method employed to determine the Design flood, which has served as a basis for the optimum sizing of the outlet elements in the embankment dams.

**Table 9**  
**Spanish embankment dams - Determination of the design flood**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
NUMBER OF DAMS		14	13	20
METHOD EMPLOYED IN ORDER TO DETERMINE THE DESIGN FLOOD	Empirical formulas	3		3
	Statistical methods 5 000 years			
	Statistical methods 10 000 years			
	Statistical methods 100 years		1	
	Statistical methods 500 years		2	4
	Historial methods. Data collection	1	1	5
	Probable maximum flood			

Sur 14 barrages achevés avant 1960, de telles informations ont été données sur 4 barrages, des formules empiriques ayant été adoptées pour la détermination de la crue de projet de 3 d'entre eux.

Sur 13 barrages achevés entre 1960 et 1980, les informations concernent 4 d'entre eux ; pour 2 barrages, on a utilisé des méthodes statistiques, avec une crue de période de retour de 500 ans.

Pour 12 barrages achevés après 1980, on a utilisé : des formules empiriques pour 3 barrages, des méthodes statistiques avec une crue de période de retour de 500 ans pour 4 barrages, et des méthodes historiques avec collecte de données pour 5 autres.

Le Tableau 10 donne les caractéristiques principales des évacuateurs de crue : situation par rapport au barrage, valeur de la crue maximale ou de la crue de projet prise en compte, et type d'évacuateur (avec vannes ou sans vannes).

**Tableau 10**  
**Barrages en remblai espagnols**  
**Caractéristiques principales des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
SITUATION DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE	Crête du barrage	1	3	3
	Sur un col latéral	6	1	3
	Sur un appui	6	6	13
CRUE DE PROJET (m <sup>3</sup> /s)	< 500	12	8	12
	500-1 000		1	4
	1 000-10 000	2	4	4
	> 10 000			
AVEC VANNES		2	4	6
SANS VANNES		12	9	14

En ce qui concerne la capacité de l'évacuateur de crue, la plupart des barrages considérés ont une capacité inférieure à 500 m<sup>3</sup>/s (32 barrages). Seuls 10 barrages ont un évacuateur d'une capacité comprise entre 1 000 et 10 000 m<sup>3</sup>/s.

La majorité des évacuateurs de crue sont situés sur un col latéral ou sur un appui du barrage.

Il faut signaler que, pour les barrages où l'évacuateur de crue est implanté sur la crête, il existe une structure en béton, fondée dans le lit de la rivière, sur laquelle l'évacuateur est situé.

La plupart des barrages pour lesquels on dispose d'informations sont équipés d'évacuateurs de crue à seuil libre.

Of the 14 dams prior to 1960, there are information on this theme from 4, and of these in 3, empirical formulas were employed in order to determine the Design flood.

Of the 13 which entered into service between 1960 and 1980, there are information of another four and of these, in 2, statistical methods were used with a flood of return period of 500 years.

Of the 12 dams after 1980, empirical formulas have been used in three, statistical methods with flood of 500 years return period in 4 and historical methods with collection of data in five.

In Table 10 is reflected the information relative to the situation of the spillway in relation to the dam, the value of the maximum flood or design flood considered, and whether the spillway is controlled by gates or is uncontrolled.

**Tableau 10**  
**Spanish embankment dams**  
**Principal characteristics of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
LOCATION OF SPILLWAY	Top of the dam	1	3	3
	Side saddle	6	1	3
	Side abutment	6	6	13
DESIGN FLOOD (m <sup>3</sup> /s)	< 500	12	8	12
	500-1 000		1	4
	1 000-10 000	2	4	4
	> 10 000			
WITH GATES		2	4	6
WITHOUT GATES		12	9	14

In relation to the capacity of the spillway, the majority of dams considered have a lesser capacity than 500 m<sup>3</sup>/s (32 dams). Only 10 dams have the spillway with capacity of between 1 000 and 10 000 m<sup>3</sup>/s.

In as far as the location of the spillway is concerned, in the majority of the cases it is situated on a saddle or on an abutment.

It must be noted that those dams in which the location of the spillway is on the crest of the dam, there exists a concrete structure, founded on the bed of the river, over which the spillway is situated.

The great part of the dams of which there are information, are equipped with uncontrolled spillway.

Le Tableau 11 résume les informations reçues au sujet de l'exploitation des évacuateurs de crue.

**Tableau 11**  
**Barrages en remblai espagnols**  
**Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
FONCTIONNEMENT DES VANNES	Automatique	2		
	Électrique et manuel	1	2	4
SOURCES D'ÉNERGIE	Ligne électrique et groupe électrogène	1		3
	Une seule ligne électrique			
	Diverses lignes électriques et groupe électrogène		2	1
SUBMERSION ADMISE	OUI	1	1	
	NON	13	12	20
EXISTE-T-IL DES ÉVACUATEURS TYPE DIGUE FUSIBLE?	OUI			
	NON	14	13	20
UN ENTRETIEN EST EFFECTUÉ	OUI	9	4	6
	NON	5	9	14
DES MODIFICATIONS ONT-ELLES ÉTÉ NÉCESSAIRES?	OUI	2		1
	NON	12	13	19
% DU COÛT DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3	1	1	
	3-7			2
	7-10			1
	> 10		2	6

En ce qui concerne le fonctionnement des vannes, on constate que, pour le très petit nombre de barrages sur lesquels des renseignements ont été fournis à ce propos, aucun des barrages achevés après 1960 ne possède de vannes automatiques ; leurs vannes sont à commande électrique et manuelle. Seuls deux des barrages mis en service avant 1960 sont équipés de vannes automatiques.

Un des barrages achevés avant 1960 et un autre mis en service entre 1960 et 1980 admettent une submersion. Ces cas sont examinés ci-après.

In Table 11 is collected the information received in relation to the characteristics concerning operation.

**Tableau 11**  
**Spanish embankment dams**  
**Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
OPERATION OF GATES	Automatic	2		
	Electrical and manual	1	2	4
SOURCES OF ENERGY	Power line and generating set	1		3
	Only one power line			
	Various power lines and generating set		2	1
OVERTOPPING ADMITTED	YES	1	1	
	NO	13	12	20
FUSE PLUG SPILLWAYS	YES			
	NO	14	13	20
MAINTENANCE IS CARRIED OUT	YES	9	4	6
	NO	5	9	14
HAVE MODIFICATIONS BEEN NECESSARY	YES	2		1
	NO	12	13	19
% OF COST OF SPILLWAY OVER THE TOTAL	< 3	1	1	
	3-7			2
	7-10			1
	> 10		2	6

As far as the operation of gates is concerned, in none of the few dams of which there are information on this theme are there automatic gates in those constructed after 1960, and in all of them the operation is electrical and manual. Only two dams of those which entered into service before 1960, are equipped with automatic gates.

One of the dams prior to 1960 and another of those constructed between 1960 and 1980 admit overtopping. These cases are commented on later.

Il n'y a pas d'information sur les évacuateurs de crue du type « digue fusible ».

L'entretien est effectué sur tous les barrages équipés de vannes et sur quelques-uns de ceux ayant un déversoir à seuil libre. Pour quatre barrages, il a été nécessaire d'apporter des modifications aux évacuateurs.

En ce qui concerne le coût de l'évacuateur de crue, dans la plupart des cas il est supérieur à 10 % du coût total du barrage.

### 1.2.2. Analyse des informations reçues - Barrages non espagnols

Le Tableau 12 donne les informations reçues au sujet des méthodes utilisées pour la détermination de la crue de projet, qui a servi de base pour l'optimisation du dimensionnement des ouvrages d'évacuation des barrages en remblai, dans les pays autres que l'Espagne ayant répondu à l'enquête.

**Tableau 12**  
**Barrages en béton non espagnols - Détermination de la crue de projet**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
NOMBRE DE BARRAGES		4	22	23
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CRUE DE PROJET	Formules empiriques		1	6
	Méthodes statistiques (période de retour : 5 000 ans)			
	Méthodes statistiques (période de retour : 10 000 ans)	1	3	4
	Méthodes statistiques (période de retour : 100 ans)		5	1
	Méthodes statistiques (période de retour : 500 ans)		1	
	Méthodes historiques. Collecte de données		2	
	Crue maximale probable (PMF)			

Des informations ont été fournies sur 24 barrages. Pour le dimensionnement de l'évacuateur de crue, on a utilisé : la crue de période de retour de 10 000 ans (méthodes statistiques) pour 8 d'entre eux, des formules empiriques pour 7 barrages, et la crue de période de retour de l'ordre de 100 ans pour 7 autres.

Le Tableau 13 résume les informations concernant la situation de l'évacuateur de crue par rapport au barrage, la valeur de la crue de projet et le type d'évacuateur (avec vannes ou sans vannes).

En ce qui concerne la capacité de l'évacuateur de crue, sur les 49 barrages, 19 ont un évacuateur d'une capacité supérieure à 10 000 m<sup>3</sup>/s et 18 une capacité d'évacuation comprise entre 1 000 et 10 000 m<sup>3</sup>/s.

Au sujet de la situation des évacuateurs de crue, les commentaires faits sur les évacuateurs de crue situés sur la crête de barrages espagnols sont valables ici :

There are not information on dams with fuse plug spillways.

The maintenance is carried out in all the dams equipped with gates and in some of those equipped with uncontrolled spillway. In four dams it has been necessary to introduce modifications in the outlet elements.

As far as cost of spillways is concerned, in the greater part of the cases it was greater than 10% of the total cost.

### 1.2.2. Results of the information received. Non Spanish dams.

In Table 12 is shown the information received with reference to the method employed in order to determine the Design flood, which has served as a basis for the optimum sizing of the outlet elements in the embankment type dams, of the countries other than Spain which have replied to the survey.

**Table 12**  
**Non Spanish embankment dams - Determination of the design flood**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
NUMBER OF DAMS		4	22	23
METHOD EMPLOYED IN ORDER TO DETERMINE THE DESIGN FLOOD	Empirical formulas		1	6
	Statistical methods 5 000 years			
	Statistical methods 10 000 years	1	3	4
	Statistical methods 100 years		5	1
	Statistical methods 500 years		1	
	Historial methods. Data collection		2	
	Probable maximum flood			

There are information of 24 dams, and of these in 8, the flood with a return period of 10 000 years has been used for the optimum sizing of the spillway, in seven empirical formulas and in another seven a return period of the order of 100 years.

In Table 13 is included the information relative to the location of the spillway in relation to the dam, the value of the design flood considered, and the fact that the spillway is controlled or uncontrolled.

In relation to the capacity of the spillway, in 19 of the 49 dams, the capacity of the spillway is greater than 10 000 m<sup>3</sup>/s and in 18 the capacity is between 1 000 and 10 000 m<sup>3</sup>/s.

As far as the location of the spillway is concerned, it may be repeated the comment already mentioned on dealing with Spanish dams, on referring to the



dans ce cas, l'évacuateur comprend une structure en béton fondée dans le lit de la rivière.

**Tableau 13**  
**Barrages en remblai non espagnols**  
**Caractéristiques principales des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
SITUATION DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE	Crête du barrage	2	11	5
	Sur un col latéral	3	8	13
	Sur un appui		3	2
CRUE DE PROJET (m <sup>3</sup> /s)	< 500		4	7
	500-1 000			1
	1 000-10 000	2	7	9
	> 10 000	2	11	6
AVEC VANNES		3	20	13
SANS VANNES		1	2	10

La plupart des évacuateurs de crue analysés dans le présent paragraphe sont équipés de vannes.

Le Tableau 14 résume les informations reçues au sujet de l'exploitation et du coût des évacuateurs de crue.

En ce qui concerne le fonctionnement des vannes, on constate qu'aucun des barrages n'est équipé de vannes automatiques et que, sur tous les barrages, les vannes sont à commande électrique et manuelle.

Seuls deux des barrages achevés entre 1960 et 1980 et un de ceux mis en service après 1980 admettent une submersion.

Un seul barrage avec un évacuateur de crue du type «digue fusible» est cité.

Les réponses à l'enquête indiquent que l'entretien est effectué seulement sur 14 barrages. Comme mentionné précédemment, il doit y avoir un problème d'interprétation de la question formulée dans l'enquête, ce qui conduit à ne pas prendre en considération ces données.

Sur un barrage, il a été nécessaire d'apporter des modifications aux ouvrages d'évacuation.

En ce qui concerne les coûts des évacuateurs de crue, les informations recueillies à ce sujet montrent que, pour la plupart des cas signalés, le coût est supérieur à 10 % du coût total du barrage, à l'exclusion des coûts des études techniques et des indemnités.

spillway located on the crest of the dam: In this case the spillway consists of a concrete structure founded on the river bed.

**Tableau 13**  
**Non Spanish embankment dams**  
**Principal characteristics of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
LOCATION OF SPILLWAY	Top of the dam	2	11	5
	Side saddle	3	8	13
	Side abutment		3	2
DESIGN FLOOD (m <sup>3</sup> /s)	< 500		4	7
	500-1 000			1
	1 000-10 000	2	7	9
	> 10 000	2	11	6
WITH GATES		3	20	13
WITHOUT GATES		1	2	10

The greater part of the spillways referred to in this section are equipped with gates.

In Table 14 is included the information received inasmuch as the characteristics considered to be of operation.

As far as the operation of gates is concerned, in none of the dams are there automatic gates and in all of them the operation is electrical and manual.

Only two dams of those constructed between 1960 and 1980 admit overtopping, and one which entered into service after 1980.

Only one case is cited of a dam with fuse plug spillway.

Maintenance according to the answers to the survey is carried out only in 14 dams. As previously mentioned, there must be some problem of interpretation in the survey, for which this data should not be taken into consideration.

In one dam it has been necessary to introduce modifications in the outlet elements.

As far as costs of spillways are concerned, most of the cases of which this type of information was received, it was greater than 10% of the total cost of the dam, without including costs of engineering or compensation.

**Tableau 14**  
**Barrages en remblai non espagnols**  
**Caractéristiques relatives à l'exploitation et au coût des évacuateurs de crue**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
FONCTIONNEMENT DES VANNES	Automatique			
	Électrique et manuel	3	20	13
SOURCES D'ÉNERGIE	Ligne électrique et groupe électrogène		6	2
	Une seule ligne électrique	3	12	11
	Diverses lignes électriques et groupe électrogène			
SUBMERSION ADMISE	OUI		2	1
	NON	4	20	22
EXISTE-T-IL DES ÉVACUATEURS TYPE DIGUE FUSIBLE?	OUI		1	
	NON	4	21	23
UN ENTRETIEN EST EFFECTUÉ	OUI		7	7
	NON	4	21	23
DES MODIFICATIONS ONT-ELLES ÉTÉ NÉCESSAIRES?	OUI		1	
	NON	4	21	23
% DU COÛT DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3		1	
	3-7			3
	7-10		2	2
	> 10	1	6	13

### 1.2.3. Modifications des ouvrages d'évacuation de barrages en remblai

Les informations reçues d'Espagne et d'autres pays indiquent seulement quatre barrages en remblai dans lesquels des modifications ont été apportées aux ouvrages d'évacuation.

Dans un de ces barrages, les vannes de la vidange de fond ont été modifiées en vue d'obtenir un meilleur fonctionnement hydraulique et les rendre exploitables.

Un barrage de petite hauteur (7 m) fut modifié afin qu'il puisse admettre une submersion et, dans un autre également de faible hauteur (12 m), un nouvel évacuateur de crue fut construit.

**Tableau 14**  
**Non Spanish embankment dams**  
**Characteristics relating to the operation and the cost of the spillways**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
OPERATION OF GATES	Automatic			
	Electrical and manual	3	20	13
SOURCES OF ENERGY	Power line and generating set		6	2
	Only one power line	3	12	11
	Various power lines and generating set			
OVERTOPPING ADMITTED	YES		2	1
	NO	4	20	22
FUSE PLUG SPILLWAYS	YES		1	
	NO	4	21	23
MAINTENANCE IS CARRIED OUT	YES		7	7
	NO	4	21	23
HAVE MODIFICATIONS BEEN NECESSARY	YES		1	
	NO	4	21	23
% OF COST OF SPILLWAY OVER THE TOTAL	< 3		1	
	3-7			3
	7-10		2	2
	> 10	1	6	13

*1.2.3. Modifications in the outlet elements in embankment dams.*

In the information received, both from Spanish dams and from other countries, only four cases are mentioned in which modifications have been introduced in the outlet elements of embankment dams.

In one of them, the bottom outlet valves were modified in order to obtain a better hydraulic functioning, and to make them operative.

One dam of reduced height (7 m) was conditioned so that it could admit overtopping and in another, also small (12 m), a new spillway was constructed.

Dans un barrage de 80 m de hauteur, il fut nécessaire de construire un nouvel évacuateur de crue afin d'éviter l'inondation de l'usine hydroélectrique.

Dans un cas, on a dû construire un nouvel évacuateur de crue à la suite d'une étude hydrologique plus complète ayant démontré que la crue maximale avait été sous-estimée.

Il faut souligner que les informations reçues, concernant à la fois des barrages en remblai et des barrages en béton, ne signalent qu'un cas où la capacité de l'évacuateur de crue a été augmentée en construisant un autre évacuateur, cela résultant d'une étude hydrologique plus complète. Cependant, il existe à travers le monde un assez grand nombre de barrages où la crue maximale ayant servi de base à la conception et au dimensionnement des ouvrages d'évacuation est inférieure à celle qui serait adoptée aujourd'hui. Parmi les 306 barrages sur lesquels on dispose de renseignements, il y en a seulement un concerné par ce problème.

Bien entendu, les informations reçues au sujet des modifications d'ouvrages d'évacuation sont trop réduites pour permettre de tirer des conclusions.

#### *1.2.4. Commentaires sur les informations relatives au coût des ouvrages d'évacuation de barrages en remblai (barrages d'Espagne et d'autres pays)*

Une analyse détaillée des informations reçues permet de déduire qu'en général, pour les barrages en remblai, le coût des ouvrages d'évacuation est compris entre 15 et 30 % du coût total du barrage, à l'exclusion des indemnités et du coût des études techniques.

Dans certains cas, le coût des évacuateurs représente un pourcentage moindre du coût total. Il s'agit généralement de sites où les débits de crue sont faibles et de barrages de dimensions relativement importantes, ou de situations particulières avec des conditions très favorables pour la construction de l'évacuateur de crue.

Cette forte répercussion de l'évacuateur de crue sur le coût total peut, dans de nombreux cas, résulter de la grande sensibilité des barrages en remblai vis-à-vis des crues ; en effet, la submersion de ces barrages n'est pas admise, à moins que le barrage n'ait été conçu pour une telle éventualité en prenant des dispositions appropriées sur le talus aval.

En ce qui concerne le coût d'entretien, les informations reçues sont rares, peut-être du fait qu'il est fréquent, sur ce type de barrage, d'utiliser des évacuateurs à seuil libre, sans vannes.

Pour les barrages en remblai équipés de vannes, les informations disponibles (hommes-heures par an ou coût en \$ US) sont identiques à celles concernant les barrages en béton, ce qui est tout à fait logique.

## **2. DÉRIVATION PROVISOIRE DE LA RIVIÈRE**

### **2.1. Barrages en béton**

#### *2.1.1. Analyse des informations reçues - Barrages espagnols*

La Tableau 15 résume les informations fournies sur les ouvrages de dérivation provisoire utilisés au cours de la construction de barrages en béton espagnols.

In a dam of 80 m height, it was necessary to construct a new spillway in order to avoid flooding of the hydroelectric power station.

In one case it was necessary to construct a new spillway on carrying out a more complete hydrological study which led to the conclusion that the maximum flood was underestimated.

It should be pointed out that from the information received, both from embankment and concrete dams, only in one case has the capacity of the spillway been increased, constructing another new one, as a result of a more complete hydrological study. Nevertheless, there exist in the world a fair number of dams in which the maximum flood for which their outlet elements have been designed, is less than that which would be established today. Among the 306 dams of which there are information, there is only one which mentions this problem.

Evidently, the information received relative to modifications of outlet elements in embankment dams is too sparse to be able to draw conclusions.

#### *1.2.4. Comments on the information relative to the cost of the outlet elements in embankment dams, Spanish and of other countries.*

From a detailed analysis of the information received, it is deduced that in general, in the embankment dams the cost of the outlet elements represents between 15 and 30 per cent of the total cost of the dam, without including compensation or costs of engineering.

In some dams, the cost of the outlet elements represents a lesser percentage of the total cost. These cases usually correspond to sites with small flood flows, and dams of relatively important size, or special situations, with very favourable conditions for the construction of a spillway.

This greater repercussion of the spillway on the total cost can be due in many cases to the greater sensitivity of the safety of these dams in the face of floods, because overtopping is not admitted in embankment dams, except in the case that the dam has been designed for this eventuality, taking the adequate precautions on the downstream slope.

In relation to the cost of maintenance, the information received is scarce, perhaps because it is frequent, in this type of dam, to use uncontrolled spillways, without gates.

The information available, both inasmuch as it refers to man hours per year or to the cost in US\$, is similar to that of the concrete dams, for those dams equipped with gates, something, on the other hand, which is totally logical.

## **2. TEMPORARY RIVER DIVERSION**

### **2.1. Concrete dams**

#### *2.1.1. Results of the information received. Spanish dams.*

In Table 15 is included the information received relative to the temporary diversion of the river of the concrete dams constructed in Spain.

En ce qui concerne le type de dérivation, on peut constater que, pour les barrages achevés avant 1960 et entre 1960 et 1980, la plupart des dérivations sont constituées de batardeaux et galerie ; le nombre de dérivations du type «batardeaux-galerie» et celui du type « batardeaux-canal » sont équivalents pour les barrages achevés après 1980.

**Tableau 15**  
**Barrages en béton espagnols**  
**Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
TYPE DE DÉRIVATION	Batardeaux et canal		4	8
	Batardeaux et galerie	18	29	7
	Enceinte batardeée		1	1
CAPACITÉ DE LA DÉRIVATION (m³/s)	< 100	1	10	8
	100-500	5	8	6
	500-1 000	1	3	
	1 000-5 000			
	> 5 000			
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CAPACITÉ	Crue avec période de retour de 5 ans		6	
	Crue avec période de retour de 10 ans	1	1	1
	Crue avec période de retour de 25 ans			
	Crue avec période de retour de 50 ans	1	4	1
	Crue avec période de retour de 100 ans		1	
	Crue avec période de retour de 500 ans		2	
% DU COÛT DE LA DÉRIVATION PROVISOIRE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3	1	11	6
	3-7	1	4	3
	7-10		1	2
	> 10	3	5	

In relation to the type of diversion it may be seen that in the greater part of the cases the diversion was carried out with cofferdams and tunnel, both in the dams prior to 1960 and in those completed between 1960 and 1980, being equivalent the number of diversions carried out with cofferdams and tunnel and cofferdams and canal for the dams after 1980.

**Table 15**  
**Spanish concrete dams**  
**Principal characteristics of the temporary diversion works**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
TYPE OF DIVERSION	Cofferdams and canal		4	8
	Cofferdams and tunnel	18	29	7
	Cofferdammed enclosure		1	1
CAPACITY OF THE DIVERSION (m <sup>3</sup> /s)	< 100	1	10	8
	100-500	5	8	6
	500-1 000	1	3	
	1 000-5 000			
	> 5 000			
METHOD USED TO DETERMINE THE CAPACITY	Flood with return period of 5 years		6	
	Flood with return period of 10 years	1	1	1
	Flood with return period of 25 years			
	Flood with return period of 50 years	1	4	1
	Flood with return period of 100 years		1	
	Flood with return period of 500 years		2	
% COST OF THE TEMPORARY DIVERSION OVER THE TOTAL	< 3	1	11	6
	3-7	1	4	3
	7-10		1	2
	> 10	3	5	



Une des raisons de l'augmentation du nombre relatif de barrages où la dérivation provisoire a été réalisée au moyen de batardeaux et canal après 1980 est que les sites des barrages construits après 1980 sont moins favorables que ceux des ouvrages mis en service avant 1980 ; en effet, il faut admettre qu'à travers le monde les premiers sites retenus pour la construction de barrages étaient les sites les plus favorables, en particulier sur le plan des caractéristiques géologiques et topographiques.

Si les conditions géologiques et topographiques des sites sont moins favorables pour la construction des barrages mis en service après 1980, elles le sont aussi pour la perforation d'une galerie dans les versants de la vallée ; il sera donc plus économique d'accepter la construction plus compliquée d'un canal de dérivation provisoire sur le site que la perforation d'une galerie dans une roche de caractéristiques défavorables, avec les incertitudes qu'une telle perforation entraîne sur le coût et la durée d'exécution.

En ce qui concerne la capacité de dérivation, les informations disponibles pour les barrages mis en service avant 1960 sont rares ; pour les périodes d'achèvement des travaux 1960-1980 et postérieure à 1980, le nombre de barrages ayant une dérivation provisoire de capacité inférieure à 100 m<sup>3</sup>/s est identique au nombre de barrages dont la dérivation a une capacité comprise entre 100 et 500 m<sup>3</sup>/s.

Quant aux méthodes adoptées pour déterminer cette capacité, les données disponibles sur les barrages achevés avant 1960 sont très limitées (deux barrages). Pour les barrages terminés entre 1960 et 1980, ceux où la dérivation provisoire a été dimensionnée pour une crue de période de retour de 5 ans ressortent, suivis par ceux où une crue de période de retour de 50 ans a été adoptée.

Il y a très peu de données sur les barrages terminés après 1980 et on ne peut donc tirer aucune conclusion.

Les informations sur les coûts sont également rares et cela est d'autant plus vrai que les barrages sont plus anciens. Pour les périodes d'achèvement 1960-1980 et postérieure à 1980, le nombre de barrages où le coût de la dérivation provisoire est inférieur à 3 % du coût total prédomine. Parmi les barrages terminés entre 1960 et 1980, il y a un nombre relativement élevé de cas où le coût de la dérivation a dépassé 10 % du coût total.

### *2.1.2. Analyse des informations reçues - Barrages non espagnols*

Le Tableau 16 résume les informations fournies sur les ouvrages de dérivation provisoire utilisés au cours de la construction de barrages en béton non espagnols.

En ce qui concerne le type de dérivation, dans la plupart des cas où des informations sont disponibles à ce sujet, la dérivation est constituée de batardeaux et galerie ; le nombre de dérivations comportant des batardeaux et canal est nettement inférieur.

Pour ce qui est de la capacité de la dérivation, les informations recueillies indiquent une grande disparité de débits.

One reason for the increase in the relative number of dams in which the diversion was carried out with cofferdams and canal after 1980, could be the fact that the sites of the dams constructed after 1980 are less favourable than those of the dams constructed before 1980, since it is to be supposed that all over the world the damsites which were first occupied are the most favourable, and among the conditions which make a site more favourable and recommendable are its geological and topographical characteristics.

This leads one to think that if the topographical and geological conditions of the sites are less favourable for the construction of the dams which entered into service after 1980, they will also be for the construction of a tunnel in the sides of the valley, for which it would be more economical to accept the greater construction complication which a provisional canal on site implies, than the excavation of a tunnel in a rock of unfavourable characteristics, with the uncertainties as far as cost and time for completion involves.

In relation to the diversion capacity, the information available of dams which entered into service before 1960 is scarce, and in the dams after 1960, both those completed between 1960 and 1980 and those after 1980, the number of dams whose temporary diversion has a lesser capacity than 100 m<sup>3</sup>/s is similar to the dams with diversions of dimensions for volumes of flow of between 100 and 500 m<sup>3</sup>/s.

As far as the methods followed in order to determine this capacity, the data available of the dams prior to 1960 are very limited (two dams). Among those completed between 1960 and 1980, those in which the flood with a return period of 5 years was used stand out, followed by that of a return period of 50 years.

Of the dams after 1980 there are also very limited information on this subject, for which reason one cannot reach any conclusion.

The information on costs is also scarce, and the older the dams the more scarce the information. In those completed after 1980 those in which the cost of the diversion is less than 3% of the total cost of the dam predominate, the same as in the dams completed between 1960 and 1980. Of the dams constructed between 1960 and 1980 there are a significant number, with a cost of diversion greater than 10% of the total.

### *2.1.2. Results of the information received. Non Spanish dams*

In Table 16 is indicated the information received in relation to the temporary diversion of the river of the concrete dams constructed in various countries, among which Spain is not included.

In relation to the type of diversion, in the greater proportion of the cases with information available on this matter, the diversion is carried out with cofferdams and tunnel; the number of diversions effected by way of cofferdams and canal being notably less.

In relation with the capacity of the diversion, the information available indicates a great disparity in the volumes of flow adopted.

**Tableau 16**  
**Barrages en béton non espagnols**  
**Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
TYPE DE DÉRIVATION	Batardeaux et canal		7	4
	Batardeaux et galerie	5	16	14
	Enceinte batardée			
CAPACITÉ DE LA DÉRIVATION (m <sup>3</sup> /s)	< 100	1	4	6
	100-500	2	5	8
	500-1 000	1	5	
	1 000-5 000	1	4	3
	> 5 000		3	1
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CAPACITÉ	Crue avec période de retour de 5 ans		2	6
	Crue avec période de retour de 10 ans	1	3	1
	Crue avec période de retour de 25 ans			2
	Crue avec période de retour de 50 ans			
	Crue avec période de retour de 100 ans		1	
	Crue avec période de retour de 500 ans			
% DU COÛT DE LA DÉRIVATION PROVISOIRE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3	1	2	6
	3-7	1	4	3
	7-10		2	
	> 10		1	2

Pour la détermination de cette capacité, les renseignements reçus montrent qu'en général les méthodes suivies prennent en compte des crues de période de retour de 10 ans ou moindre.

Les informations sur les coûts, également peu nombreuses, indiquent que, dans la plupart des cas, le coût de la dérivation provisoire a été inférieur à 7 % du coût total du barrage.

**Table 16**  
**Non Spanish concrete dams**  
**Principal characteristics of the temporary diversion works**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
TYPE OF DIVERSION	Cofferdams and canal		7	4
	Cofferdams and tunnel	5	16	14
	Cofferdammed enclosure			
CAPACITY OF THE DIVERSION (m <sup>3</sup> /s)	< 100	1	4	6
	100-500	2	5	8
	500-1 000	1	5	
	1 000-5 000	1	4	3
	> 5 000		3	1
METHOD USED TO DETERMINE THE CAPACITY	Flood with return period of 5 years		2	6
	Flood with return period of 10 years	1	3	1
	Flood with return period of 25 years			2
	Flood with return period of 50 years			
	Flood with return period of 100 years		1	
	Flood with return period of 500 years			
% COST OF THE TEMPORARY DIVERSION OVER THE TOTAL	< 3	1	2	6
	3-7	1	4	3
	7-10		2	
	> 10		1	2

As far as the methods followed in order to determine this capacity are concerned, the data available indicates that, in general, floods with a return period of 10 years or less were employed.

The information received on costs, also scarce, indicates that in the greater part of the cases, this has been less than 7% of the cost of the work.

## 2.2. Barrages en remblai

### 2.2.1. Analyse des informations reçues - Barrages espagnols

Le Tableau 17 résume les informations fournies sur les ouvrages de dérivation provisoire de barrages en remblai construits en Espagne.

**Tableau 17**  
**Barrages en remblai espagnols**  
**Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
TYPE DE DÉRIVATION	Batardeaux et canal		1	2
	Batardeaux et galerie	2	3	8
	Enceinte batardée			
CAPACITÉ DE LA DÉRIVATION (m <sup>3</sup> /s)	< 100		1	1
	100-500	1	1	7
	500-1 000		1	2
	1 000-5 000			
	> 5 000			
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CAPACITÉ	Crue avec période de retour de 5 ans			
	Crue avec période de retour de 10 ans			2
	Crue avec période de retour de 25 ans			
	Crue avec période de retour de 50 ans			2
	Crue avec période de retour de 100 ans			
	Crue avec période de retour de 500 ans			
% DU COÛT DE LA DÉRIVATION PROVISOIRE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3			1
	3-7			1
	7-10			1
	> 10		1	2

## 2.2. Embankment dams

### 2.2.1 Results of the information received. Spanish dams.

In Table 17, is included the information received on the temporary river diversion in the embankment dams constructed in Spain.

**Table 17**  
**Spanish embankment dams**  
**Principal characteristics of the temporary diversion works**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
TYPE OF DIVERSION	Cofferdams and canal		1	2
	Cofferdams and tunnel	2	3	8
	Cofferdammed enclosure			
CAPACITY OF THE DIVERSION (m <sup>3</sup> /s)	< 100		1	1
	100-500	1	1	7
	500-1 000		1	2
	1 000-5 000			
	> 5 000			
METHOD USED TO DETERMINE THE CAPACITY	Flood with return period of 5 years			
	Flood with return period of 10 years			2
	Flood with return period of 25 years			
	Flood with return period of 50 years			2
	Flood with return period of 100 years			
	Flood with return period of 500 years			
% COST OF THE TEMPORARY DIVERSION OVER THE TOTAL	< 3			1
	3-7			1
	7-10			1
	> 10		1	2

En ce qui concerne le type de dérivation, l'adoption de batardeaux et galerie prédomine, le type « batardeaux-canal » étant moins utilisé.

Il faut reconnaître que, dans le cas d'un barrage en remblai, un canal passant dans l'enceinte du chantier pose plus de problèmes de construction que dans le cas d'un barrage en béton où il est plus facile de laisser un pertuis ou un joint élargi dans le barrage et de le fermer après la fin des travaux ; cela explique que pour les barrages achevés après 1980 les solutions avec galeries sont plus fréquentes, bien que les conditions géologiques ne soient pas absolument favorables.

Les données disponibles indiquent que les capacités de dérivation sont très variées. Dans de nombreux cas, elles sont comprises entre 100 et 500 m<sup>3</sup>/s.

En ce qui concerne la méthode utilisée pour déterminer la capacité de la dérivation, les informations reçues sont trop rares pour permettre de tirer des conclusions.

Quant aux coûts, les données sont également très limitées.

### **2.2.2. Analyse des informations reçues - Barrages non espagnols**

Le Tableau 18 résume les informations relatives aux ouvrages de dérivation provisoire de barrages en remblai non espagnols.

En ce qui concerne le type de dérivation, la solution «batardeaux et galerie» prédomine.

Les informations reçues montrent que les capacités de dérivation sont très variées. Dans de nombreux cas, la capacité dépasse 5 000 m<sup>3</sup>/s.

Quant aux méthodes utilisées pour déterminer la capacité de la dérivation provisoire, les informations fournies concernent seulement des barrages achevés après 1960 ; parmi ces derniers, ceux où la dérivation provisoire a été dimensionnée pour une crue de période de retour de 100 ans prédominent, suivis par ceux où une crue de période de retour de 25 ans a été adoptée.

Pour ce qui est des coûts, les informations fournies pour des barrages terminés avant 1980 sont très rares. Pour les barrages achevés après 1980, les données disponibles ne permettent de tirer aucune conclusion compte tenu des coûts très variés : dans sept cas ce coût a été inférieur à 3 % du coût total du barrage, dans sept autres il a été compris entre 3 et 7 %, et dans sept autres il a dépassé 7 %.

In relation to the type of diversion employed, the use of cofferdams and tunnel predominates, followed by cofferdams and canal.

The fact that in an embankment dam, a canal that crosses the enclosure of the work causes more construction problems than in a concrete dam (in a concrete dam it is easier to leave an opening or a gap which crosses the dam, and close it when the dam is finished than, in general, in an embankment dam) makes it that the solutions with tunnels are more frequent, in the dams constructed after 1980, although the geological conditions are not altogether favourable.

The diversion capacity for the dams with information available is very variable. In many cases the capacity is between 100 and 500 m<sup>3</sup>/s.

In relation to the method employed in order to establish the capacity of the diversion, the information received is too scarce to be able to arrive at any conclusion.

As far as costs are concerned, the information is also very limited.

### **2.2.2. Results of the information received. Non Spanish dams.**

In the Table n° 18, is included the information received on the temporary river diversion in the embankment dams constructed in various countries.

In relation with the type of diversion employed, the solution of cofferdams and tunnel predominates.

The capacity of the diversion for the dams with information available is very variable. In many cases the capacity exceeds 5 000 m<sup>3</sup>/s.

In relation to the method employed in order to establish the capacity of the diversion, the information available concerned only the dams constructed after 1960 and in these predominate those in which the diversion capacity has been determined in accordance with the flood with a return period of 100 years followed by those in which the return period is 25 years.

As far as costs are concerned, the information of the dams before 1980 is very limited, and in those completed after 1980, of the data available not any conclusion may be deduced since in seven cases the cost was less than 3%, in another seven it was between 3% and 7% and, in another seven, it was greater than 7%.



**Tableau 18**  
**Barrages en remblai non espagnols**  
**Caractéristiques principales des ouvrages de dérivation provisoire**

ANNÉE D'ACHÈVEMENT		Avant 1960	Entre 1960 et 1980	Après 1980
TYPE DE DÉRIVATION	Batardeaux et canal	3	6	3
	Batardeaux et galerie	1	13	14
	Enceinte batardée		2	
CAPACITÉ DE LA DÉRIVATION (m <sup>3</sup> /s)	< 100		1	6
	100-500	1	4	5
	500-1 000		1	2
	1 000-5 000	1	4	4
	> 5 000	2	8	6
MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉTERMINER LA CAPACITÉ	Crue avec période de retour de 5 ans		1	
	Crue avec période de retour de 10 ans		3	2
	Crue avec période de retour de 25 ans		1	6
	Crue avec période de retour de 50 ans		1	4
	Crue avec période de retour de 100 ans		5	3
	Crue avec période de retour de 500 ans			2
% DU COÛT DE LA DÉRIVATION PROVISOIRE PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL	< 3		4	3
	3-7		1	6
	7-10	1		3
	> 10			4

**Table 18**  
**Non Spanish embankment dams**  
**Principal characteristics of the temporary diversion works**

YEAR OF COMPLETION		Before 1960	From 1960 to 1980	After 1980
TYPE OF DIVERSION	Cofferdams and canal	3	6	3
	Cofferdams and tunnel	1	13	14
	Cofferdammed enclosure		2	
CAPACITY OF THE DIVERSION (m <sup>3</sup> /s)	< 100		1	6
	100-500	1	4	5
	500-1 000		1	2
	1 000-5 000	1	4	4
	> 5 000	2	8	6
METHOD USED TO DETERMINE THE CAPACITY	Flood with return period of 5 years		1	
	Flood with return period of 10 years		3	2
	Flood with return period of 25 years		1	6
	Flood with return period of 50 years		1	4
	Flood with return period of 100 years		5	3
	Flood with return period of 500 years			2
% COST OF THE TEMPORARY DIVERSION OVER THE TOTAL	< 3		4	3
	3-7		1	6
	7-10	1		3
	> 10			4

---

## ANNEXE III

---

### SOLUTIONS NON TRADITIONNELLES DE MAÎTRISE DES CRUES (\*)

#### 1. DIGUES FUSIBLES EN TERRE (désignées ci-après par le terme « digue fusible »)

Une digue fusible est un barrage en remblai conçu pour être érodé progressivement lors d'une crue exceptionnelle avant que le réservoir atteigne un niveau mettant en danger le barrage principal. Le niveau de retenue pour lequel l'érosion de la digue fusible s'amorce peut être fixé à l'avance (parfois, avec une faible précision); une autre solution consiste à décider du fonctionnement du dispositif amorçant la brèche, suivant le niveau d'eau et la montée prévue de la crue.

Plus de 50 digues fusibles (dont la moitié en Chine) ont été construites depuis 1960, en plus des évacuateurs de crue classiques. Cette solution est principalement adoptée dans le cas de grandes crues, le plus souvent entre 500 et 10 000 m<sup>3</sup>/s, et semble moins adaptée aux crues soudaines dans les petits bassins versants. Une digue fusible est parfois incluse dans l'avant-projet, mais elle est souvent construite après quelques années d'exploitation lorsque l'évacuateur de crue initial s'évère sous-dimensionné. La longueur des digues fusibles est généralement comprise entre 30 et 200 m, leur hauteur entre 3 et 8 m, mais dépassant parfois 10 m.

D'intéressants commentaires sont donnés à ce propos dans un rapport sino-finlandais publié dans les comptes rendus du Séminaire international sur l'évaluation de la sécurité des barrages, tenu à Grindelwald, Suisse, en avril 1993 (Vol. IV, pages 17-39).

Le principe de la digue fusible étant simple et apparaissant intéressant sur le plan économique, cette solution a été fortement recommandée; toutefois, des problèmes pratiques en vue de garantir la fiabilité, le fonctionnement progressif et la précision des dispositifs peuvent être difficiles ou coûteux à résoudre; les avantages et inconvénients des digues fusibles ont été résumés dans le rapport susmentionné et sont reproduits dans le Tableau, page 130.

Les inconvénients peuvent être évités ou au moins réduits par les mesures suivantes :

– Lorsque le débit maximal n'est pas contenu à l'intérieur de limites naturelles (par exemple, digue de col), on peut constituer des limites au moyen d'un revêtement du seuil et de la construction de murs latéraux; de telles protections n'exigent pas un béton de grande qualité et, dans le cas de fondation rocheuse, le revêtement n'est parfois pas nécessaire.

– Le choix du profil en travers, des matériaux et du traitement correspondant est primordial, car il détermine le temps nécessaire à l'amorçage et à l'extension

---

(\*) Annexe rédigée par F. Lempérière.

---

## APPENDIX III

---

### MORE RECENT SOLUTIONS FOR FLOOD CONTROL (\*)

#### **1. EARTHFILL FUSE PLUGS (hereunder called fuse plugs)**

Fuse plugs are embankment dams planned to erode gradually for exceptional floods before the reservoir reaches a level endangering the main dam. The water level for which fuse plug erosion is initiated may be predetermined (sometimes with little precision); alternatively the operation of the device initiating the breach may be decided according to water level and expected raising of flood.

Over 50 fuse plugs (half of them in China) have been built since 1960 in addition to classical spillways. This solution is mainly used for large flows, most often between 500 and 10 000 m<sup>3</sup>/s and seems less suitable for sudden floods in small catchment areas. A fuse plug is sometimes included in the basic design, but often built after years of operation when the initial spillway appears underdimensioned. Length of plug is generally between 30 and 200 m and height between 3 and 8 m, but sometimes over 10 m.

Many relevant comments are given in a Chinese Finnish Report in the proceedings of the " International Workshop on dam safety evaluation " held in Grindelwald, Switzerland, in April 1993 (Vol IV, pages 17-39).

As the principle of the fuse plugs is simple and basically cost effective, this solution has been strongly advocated : however, practical problems to guarantee the necessary reliability, progressivity and precision may be uneasy or costly to solve; advantages and disadvantages of fuse plugs have been summarized in the Grindelwald report referred above and are given in the Table, page 131 :

Disadvantages may be avoided or at least reduced through the following solutions :

- When the maximum flow is not limited by natural conditions (cf. saddle dam) it may be limited through lining the sill and building lateral walls: such protections do not need high quality concrete, and in case of rocky foundations, lining may be unnecessary.

- The choice of cross section, materials and corresponding treatment is a key one as it determines the necessary time for creation and lateral extension of the

---

\* Appendix prepared by F. Lempérière.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construction simple et coût peu élevé par rapport à d'autres évacuateurs de secours.</li> <li>- Ouverture théoriquement facile d'une brèche.</li> <li>- Faibles coûts d'exploitation et d'entretien.</li> <li>- Absence d'équipement de contrôle et donc d'incidents d'exploitation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La structure de la digue fusible doit être suffisamment résistante et imperméable pour maintenir l'eau dans la retenue; une brèche doit également s'ouvrir dans le plus bref délai lors de crues exceptionnelles, et la digue doit s'effacer facilement dans le temps prévu.</li> <li>- L'exploitation et la maîtrise des niveaux et des volumes de retenue sont, dans certains cas, des problèmes délicats. Après l'ouverture de la brèche dans la digue fusible, le niveau de retenue et le débit évacué ne pourront être maîtrisés.</li> <li>- Le comportement à long terme des digues fusibles n'est pas parfaitement connu.</li> </ul>

latérale de la brèche. Il y a une certaine tendance à éviter les profils en terre cohérente homogène ou en enrochement, et même les noyaux d'étanchéité épais verticaux en argile, dont la rupture peut être trop lente, et à préférer des recharges en sable et gravier avec étanchéité constituée par un noyau mince incliné ou une géomembrane. Il est nécessaire de s'assurer que la digue fusible ne se rompra pas trop tôt, par exemple sous l'action des vagues.

- Étant donné que des incertitudes subsistent quant au temps d'ouverture de la digue fusible (pouvant être souvent de l'ordre d'une demi-heure) et à l'évolution de cette brèche, certains projets divisent la digue en 2 ou 3 zones séparées par des murs; cela permet une ouverture de la brèche par étapes suivant les nécessités. une différence très nette devant exister entre les niveaux d'eau provoquant les diverses brèches.

Le point le plus important est le procédé d'amorçage de la brèche.

- La solution la plus simple est de compter sur un déversement, mais le niveau d'eau qui provoque la brèche et le temps d'obtention d'un fort débit sont difficiles à définir avec précision; cela est parfois acceptable, ou peut nécessiter une augmentation de la revanche entre le sommet de la digue fusible et la crête du barrage.

- La solution d'ouvrir une brèche initiale par sautage n'est pas recommandable si la digue fusible est à proximité du barrage principal; elle a été principalement utilisée pour ouvrir des brèches dans des digues en remblai situées le long de rivières.

- Un certain nombre de digues fusibles sont munies d'éléments-guides ou de tubes profonds pour amorcer l'ouverture de la brèche; le temps nécessaire à

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple construction solution and low costs compared with other emergency spillway.</li> <li>- Theoretically easy to open.</li> <li>- Low operation costs and low maintenance costs.</li> <li>- No control equipment and therefore no effect by operational accidents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The structure of the fuse plug should be strong enough and impervious to keep the water in the reservoir and it has also to be opened as soon as possible under extreme flood conditions and should wash out easily and within the planned time.</li> <li>- The operation and control of water levels and storage volume in reservoirs are, in many cases, sensitive matters. After the breaching of the fuse plug is initiated, the reservoir level and emergency discharge will be out of control.</li> <li>- Long-term performance of fuse plug dams is not clearly understood.</li> </ul>

breach. There is some tendency to avoid homogeneous cohesive or rockfill sections or even thick vertical clay cores the failure of which may be too slow and to favour sand and gravel shells and waterproofing by inclined thin core or geomembranes. It is necessary to check that the plug will not fail too early, for instance due to waves.

- As there remains some uncertainty in the time of plug opening (which may be often in the range of half an hour) and its progression, some designs divid the plug in 2 or 3 elements separated by walls; this allows a stepped breach according to needs provide there is a substantial difference between levels initiating the different breaches.

The most important point is the method to initiate breaching.

- The simplest solution is to rely on overtopping but there is little precision on the water level which initiates the breach and the time to reach large flow : this may be acceptable or may require an increase of the freeboard between top of the fuse plug and crest of the dam.

- The solution of blasting an initial breach may be not advisable if the fuse plug is close to the main dam : it has been used mainly to open embankments along main rivers.

- A number of fuse plugs are equipped with deep pilot elements or tubes to initiate the breaching process : this solution gives a good precision to initiate the

l'obtention de la pleine largeur peut être court dans le cas de recharges en sable et gravier, et assez aléatoire dans le cas de recharges constituées de matériaux cohérents. Des travaux d'entretien sont nécessaires pour assurer la fiabilité à long terme de tels dispositifs.

– Une solution possible consiste à installer sur la partie supérieure de la digue fusible des vannes fusibles gravitaires, non déversantes, d'environ 2 mètres de hauteur, qui peuvent basculer pour un niveau d'eau déterminé, ou à la demande, et créent rapidement la brèche nécessaire dans tous types de matériaux de digue fusible.

Même en tenant compte des coûts directs et indirects de ces mesures, les digues fusibles peuvent être une solution économique pour des débits élevés lorsque la topographie du site est favorable; mais la surface totale (en m<sup>2</sup>) nécessaire à l'implantation d'une digue fusible est de l'ordre de 2 Q (m<sup>3</sup>/s), c'est-à-dire de milliers de m<sup>2</sup>, et il n'est pas toujours possible de trouver un tel emplacement sans réalisation de travaux importants de génie civil. Pour cette raison et du fait que la solution est surtout intéressante pour les grandes capacités d'évacuation – ce qui représente un pourcentage assez faible de barrages –, le nombre de digues fusibles a été jusqu'à présent relativement limité.

En général, le but des évacuateurs comprenant des digues fusibles est à peu près le même que celui des évacuateurs de crue classiques : évacuer à l'aval une crue d'un débit inférieur à celui de la crue de projet ou de la crue de sécurité et, si possible, ne dépassant pas le débit de crue entrant. Cet objectif nécessite des digues fusibles séparées du barrage principal, avec un profil en travers et des matériaux spécialement étudiés à cet effet.

Un plus grand nombre d'applications du principe de la digue fusible sont possibles, à faible coût, si l'objectif est modifié comme suit : en cas de rupture du barrage due à une crue, choisir l'emplacement de la brèche afin que le débit à l'aval se maintienne au-dessus du débit de la crue de projet, mais en étant du même ordre de grandeur. Cette approche peut être désignée par l'expression : maîtrise de la crue d'ouverture d'une brèche dans un barrage en remblai.

#### **Maîtrise de la crue de rupture dans un barrage en remblai (zone de rupture)**

– Aucun barrage n'est sûr à 100 % : une rupture par submersion peut résulter d'un sous-dimensionnement de l'évacuateur de crue, mais aussi d'un coincement ou d'un sabotage des vannes, d'une obstruction naturelle ou artificielle, d'un glissement de versant dans la retenue, d'un changement climatique, d'une sous-estimation de la crue de projet, ...

– La crue de rupture peut varier suivant le barrage et la retenue, et atteindre 10 fois la valeur de la crue de projet, mais elle peut être très différente suivant que la brèche initiale est située au droit de la profondeur d'eau maximale, ou à un endroit où la profondeur d'eau est beaucoup plus faible avec une crue de rupture plus proche de la crue de projet.

– Un petit nombre de barrages en remblai se rompent sous l'effet d'un déversement dont la lame d'eau a une épaisseur inférieure à 0,50 m, mais la rupture de la plupart des barrages de ce type se produit sous une lame d'eau de plus de 1,50 m d'épaisseur, déversant pendant plusieurs heures.

breach : the time to obtain the full width of breach may be short with sand and gravel shells and somewhat uncertain if shells have cohesion. The long term reliability of such devices requires maintenance.

– A possible solution is to use in the upper part of fuse plugs some unspilling gravity fusegates about 2 meters high which may tilt for a precise level or when requested and create quickly the necessary breach for any plug materials.

Even taking in account the direct or indirect cost of these measures, fuse plugs may be a cost effective solution for large flows when the site topography is favourable, but the total area (in  $m^2$ ) necessary for placing a fuse plug is in the range of  $2 Q$  ( $m^3/s$ ) i.e. thousands of  $m^2$  and it is not always possible to find it without major civil works. For this reason, and because the solution is mainly attractive for the large spillway capacities which represent a rather small percentage of dams, the number of fuse plugs has hitherto been relatively small.

Usually the target of designs including fuse plugs is roughly the same as for conventional spillways : to release a downstream flood lower than the design or safety check flood and, if possible, not higher than the incoming flood. This target requires fuse plugs separated from the main dam, with special cross section and materials.

Much more applications of the fuse plug principle are possible at low cost if the target is modified as follows : in case of dam failure due to flood, to choose the breach location in order that the downstream flow be kept over the design flood, but in the same range of value. This approach could be called : control of fill dams breaching flood.

#### **Control of fill dams breaching flood (wash out section).**

– No dam is 100 per cent safe : failure by overtopping may be due to underdimensioned spillway but also to gates jamming or sabotage, artificial or natural obstruction, reservoir bank sliding, change of climate, underestimation of design flood...

– The breaching flood may vary according to dam and reservoir, be as high as ten times the design flood, but may be very different if the initial breach is at the place of maximum depth or where the water depth is much lower with a corresponding breaching flood closer to the design flood.

– Few fill dams fail for an overtopping of which the depth is lower than 0.50 m, but most fail for overtopping deeper than 1.50 m for several hours.



Il est donc attractif et possible pour de nombreux barrages d'avoir, pour un coût relativement faible, une zone de l'ouvrage où la crête est plus basse, de l'ordre de 1 à 2 m, et où l'ouverture d'une brèche est tout à fait acceptable (zone où la profondeur d'eau est de l'ordre de 8 à 10 m). Cela peut être obtenu au moyen de l'une des solutions suivantes :

- Abaissement, de l'ordre de 1,50 à 2 m, du niveau de la crête dans la zone de la brèche et fermeture de l'échancrure par des flashboards ou des hausses fusibles gravitaires qui basculeront pour un niveau de retenue fixé à l'avance ou à la demande.
- Augmentation de 1,50 m du niveau de la crête du barrage, sauf dans la zone choisie pour la brèche.
- Sautage éventuel à l'emplacement de la brèche.

Il est donc possible, pour un faible coût, de réduire considérablement les dégâts en cas de rupture, mais la valeur de la crue de rupture n'est pas déterminée avec précision.

## **2. HAUSSES FUSIBLES GRAVITAIRES**

Le concept de la hausse fusible, apparu en 1990, est basé sur l'utilisation d'éléments gravitaires, en béton ou en acier, autostables sur le seuil de l'évacuateur de crue, et sur lesquels les petites crues peuvent déverser. Les crues exceptionnelles (par exemple, crues dont la période de retour est supérieure à 100 ans) provoquent le basculement d'un ou plusieurs éléments, ce nombre dépendant du débit de la crue. Le basculement résulte de l'action de la sous-pression sous la base, le niveau de retenue causant ce renversement étant légèrement différent pour chaque élément.

Dans la plupart des applications, la configuration en plan des éléments a la forme d'un labyrinthe, de sorte que l'ensemble fonctionne comme un déversoir fixe en labyrinthe pour les crues moyennes. Étant donné que la hauteur des éléments est de l'ordre de deux fois la hauteur d'eau sur leur crête provoquant leur basculement, la hauteur de déversement triple lorsqu'ils sont renversés. Le débit spécifique maximal, pour une différence donnée entre le niveau normal de retenue et le niveau des plus hautes eaux, est donc  $3\sqrt{3}$ , c'est-à-dire cinq fois le débit spécifique d'un seuil rectiligne classique. Il est donc possible de réduire de 80 % la longueur par rapport à celle d'un seuil classique, ou d'abaisser la charge de 70 %, ou de gagner sur les deux points.

Des hausses fusibles ont été adoptées pour des débits spécifiques de 3 à 50 m<sup>3</sup>/s/m et des débits totaux de 20 m<sup>3</sup>/s à 30 000 m<sup>3</sup>/s (barrage de Wanakbori, Inde).

Elles peuvent être utilisées :

- pour surélever un seuil existant afin d'augmenter la capacité de la retenue (cela ne pose pas de difficultés du fait du faible empattement des éléments dans la direction amont-aval);
- pour augmenter la capacité d'un évacuateur de crue existant, la hausse fusible étant installée sur un seuil abaissé (les capacités de stockage et d'évacuation peuvent toutes deux être améliorées en même temps);

It is consequently attractive, and possible for many dams at low cost, to have a damcrest 1 or 2 m lower where the breach is most advisable (water depth in the range of 8 or 10 m). This may be obtained through one of the following solutions :

- Lowering by 1.50 or 2 m the crest level at the place of the breach and closing the gap by flash boards or gravity fusegates which would tilt for a fixed level or when required.

- Increasing the dam crest level by 1.50 m except at the chosen place of the breach,

- Preparing possible blasting at the breach location.

It is consequently possible, at low cost, to reduce considerably the damages in case of failure, but the value of the breaching flood is not precisely determined.

## **2. GRAVITY FUSEGATES**

The fusegate concept which appeared in 1990 is based on the use of free-standing concrete or steel gravity blocks on the spillway sill, over which small floods can spill. Exceptional floods (e.g. larger than the hundred-year flood) cause one or more of the units to overturn, the number affected being commensurate with the size of the flood. Toppling is caused by admitting uplift pressure under the base, the causal reservoir level being set slightly different for each unit.

In most applications, the sides of the units, seen in plan view, form a labyrinth shape, so that together they act like a permanent labyrinth sill during moderate floods. Since the units are about twice as high as the depth of the flow causing them to topple, the discharge depth triples when they overturn. Maximum specific discharge for a given difference between Full Supply Level and Maximum Water Level is therefore  $3\sqrt{3}$  or five times greater than the specific discharge of a standard straight sill. It is therefore possible to shorten the equivalent standard sill by 80 % or lower the head on it by 70 %, or any combination of the two.

Fusegates have been used for specific discharges of 3-50 m<sup>3</sup>/s/m and total discharges of 20 m<sup>3</sup>/s to 30 000 m<sup>3</sup>/s (Wanakbori Dam, India).

They can be used :

- to heighten existing sills to raise reservoir level and storage capacity (this involves no difficulty because of the small base width of the units in the upstream/downstream direction),

- to increase discharge capacity of existing spillways by placing the fusegate units on a lowered sill (storage and discharge capacities can frequently both be improved at the same time),

– pour équiper des nouveaux barrages d'évacuateurs de crue de longueur nettement inférieure à celle des seuils rectilignes classiques; elles sont moins coûteuses que les vannes des évacuateurs classiques, car elles ne nécessitent pas de mécanisme de manoeuvre ni de source d'énergie, et elles ne peuvent se bloquer par coincement.

L'utilisation de hausses fusibles dans des régions très froides où les réservoirs gèlent jusqu'à de grandes profondeurs exige des dispositions et des précautions spéciales.

Pour les très grands évacuateurs de crue, il peut y avoir des avantages à associer des vannes classiques (30 à 50 % de la capacité d'évacuation) avec des hausses fusibles déversantes ou non déversantes.

L'inconvénient des hausses fusibles est qu'il faut remplacer un ou plusieurs éléments après une crue exceptionnelle – une fois par siècle -, ce qui conduit à une perte de capacité de stockage. Il est parfois possible de rétablir la capacité de retenue au bout de quelques semaines, ou, dans certains cas, la profondeur d'eau correspondant à la hauteur de la hausse fusible est perdue sur toute une année.

### **3. VANNES GONFLABLES**

Quelques dizaines de grands barrages et plus d'un millier de petits barrages ont été équipés de vannes gonflables au cours de ces trente dernières années, en vue souvent de surélever des évacuateurs de crue existants, sans vanne. La plupart sont situés au Japon.

Il s'agit de « boudins » en caoutchouc, ancrés au seuil en béton et remplis d'air ou d'eau. Leur hauteur effective est fréquemment de l'ordre de 0,5 à 2,5 m, avec des longueurs unitaires de 10 à 100 m. De plus grandes hauteurs sont possibles (l'eau est généralement utilisée pour le remplissage dans le cas de hauteurs dépassant 1,5-2 m). De telles vannes peuvent, sans problèmes, déverser de petites crues par-dessus leur crête (sous des lames d'eau de l'ordre de 30 à 40 % de leur hauteur). Elles peuvent être dégonflées en 10-30 minutes par l'exploitant ou au moyen d'un dispositif automatique à flotteur.

Elles présentent deux avantages par rapport aux vannes classiques : elles sont moins chères, principalement pour des seuils très longs, et elles sont plus faciles à installer sur un évacuateur existant.

Leur développement s'est ralenti dans les années 1970 en raison d'une résistance insuffisante du caoutchouc et d'actes de vandalisme. Cependant, par suite de récents progrès, leur longévité est maintenant estimée à plus de 20-30 ans, et, dans de nombreux pays, des actes éventuels de vandalisme (principalement, des perforations au couteau) ne portent pas réellement atteinte à leur développement.

Les vannes gonflables constituent donc une solution intéressante, mais les applications sont limitées par deux particularités :

– Elles se dégonflent lorsque la hauteur de la lame déversante sur leur crête atteint 30-40 % de leur hauteur, c'est-à-dire pour un débit de l'ordre de 15 % du débit de la crue de projet, soit pour un débit à peu près égal à la crue annuelle ou décennale.

– to provide new dams with considerably shorter spillways than conventional straight sills. They are cheaper than conventional spillway gates because they require no operating mechanisms or energy source and cannot jam shut.

The use of fusegates in very cold regions where the reservoir freezes to any significant depth requires special features and precautions.

On very large spillways, there may be advantages in combining standard gates (for 30-50% discharge capacity) with overspill or non-overspill fusegates.

Fusegates do have the disadvantage that one or more units have to be replaced after an exceptional flood once per century, with associated loss of storage capacity. It may be possible to restore capacity within a few weeks, or the depth of water corresponding to fusegate height may be lost for a whole year.

### **3. INFLATABLE GATES**

A few dozen large and more than one thousand small dams have been fitted with inflatable gates over the last thirty years, frequently as a means of heightening existing ungated spillways. Most have been in Japan.

They consist of rubber 'sausages' fixed to the concrete sill and inflated with air or water. Effective height is frequently 0.5-2.5m with unit lengths of generally between 10m and 100m. Greater heights are possible (water is usually the inflating medium above 1.5-2m). They can successfully spill small floods (under heads of 30-40% their height). They can be deflated in 10-30 minutes by the operator or automatic float control.

They have two advantages over conventional gates. They are cheaper, especially on very long sills, and easier to fit to an existing spillway.

Development slowed down in the nineteen-seventies because of insufficient rubber strength and wilful damage. Recent advances however put their estimated lifespan at more than 20 or 30 years and in many countries, possible vandalism (chiefly knife punctures) is no real obstruction to development.

Inflatable gates are therefore an attractive alternative but applications are limited by two features :

– They deflate when the depth of the overspilling flow is 30-40% of their height, i.e. at a discharge of approximately 15% design flood discharge, roughly equal to the annual or ten-year flood.

– Elles ne sont pas vraiment adaptées à un dégonflement partiel; s'il n'y a qu'une seule vanne contrôlant un important volume d'eau, elle peut, lorsqu'elle est dégonflée, évacuer un débit beaucoup plus élevé que le débit de crue entrant; pour les grandes retenues, l'évacuateur de crue doit donc être équipé de plusieurs vannes indépendantes, le dégonflement de chacune d'entre elles correspondant à des niveaux de retenue nettement différents.

Les vannes gonflables sont donc réservées principalement aux petites retenues, ou aux modifications d'évacuateurs de crue existants, relativement longs, en vue essentiellement de surélever le niveau de retenue plutôt que d'augmenter la capacité de stockage.

Il y a généralement deux modes d'exploitation : vannes dégonflées pendant la durée de la saison de crue, ou vannes dégonflées automatiquement au début d'une crue.

#### 4. SEUILS LABYRINTHES FIXES

Au cours de ces dernières décennies, plusieurs dizaines de barrages ont été équipés de seuils labyrinthes fixes; ces seuils présentent souvent une forme trapézoïdale en plan; le labyrinthe est constitué fréquemment de murs verticaux en béton armé, de même hauteur. Les rapports R.15 et R.24, Question 59 du Congrès de la CIGB de Lausanne, fournissent des renseignements utiles sur ce type d'évacuateur.

Bien que l'on puisse faire varier de nombreux paramètres, l'optimum économique se traduit souvent par les caractéristiques suivantes :

- Rapport  $n$  entre la longueur développée du seuil déversant et la longueur  $L$  de l'évacuateur : entre 2 et 4.
- Rapport entre la charge d'eau maximale  $H$  sur la crête du labyrinthe et la hauteur  $P$  du labyrinthe : entre 0,45 et 0,70.
- Empattement du labyrinthe (dans la direction amont-aval) : de l'ordre de 5 fois la charge d'eau maximale  $H$  sur la crête.

Le fonctionnement hydraulique est complexe, l'écoulement à surface libre étant suivi d'un écoulement noyé correspondant aux débits élevés.

Des essais sur modèle peuvent se justifier pour la mise au point des projets, mais, pour des dimensions classiques, une estimation acceptable de la capacité maximale d'évacuation est donnée par la formule suivante :

$$Q = 1,7 L H \sqrt{n P}$$

( $Q$  en  $m^3/s$ ,  $L$ ,  $H$  et  $P$  en  $m$ )

$$\text{soit } Q = 3 L H \sqrt{P}$$

pour la valeur courante  $n = 3$ .

Les projets courants conduisent au doublement de la capacité d'évacuation par rapport à un déversoir rectiligne, c'est-à-dire à une réduction de moitié de la longueur de l'évacuateur pour une même hauteur de lame d'eau sur la crête, ou à

– They are not really suited to partial deflation and if there is only one unit controlling a large volume of water, when deflated, it may release a much greater flow than the incoming flood. At large reservoirs therefore, the spillway must have several individual units, deflating at substantially different reservoir levels.

Inflatable gates are therefore confined chiefly to small reservoirs or to modify long existing spillways focusing on raising water level rather than increasing storage capacity.

They are generally operated in one of two ways : deflated for the duration of the flood season or automatically deflated at the onset of a flood.

#### 4. PERMANENT LABYRINTH SILLS

Over the last few decades, several dozen dams have been fitted with permanent overspill sills of labyrinth shape; they often share a similar trapezoidal shape in plan view; the labyrinth frequently consists of vertical reinforced concrete walls of constant height. Much relevant information can be found in papers R15 and R24, Question 59, Lausanne Congress.

Although many parameters can be varied, the economic optimum often confers the following features :

- Ratio  $n$  between developed sill length and spillway width  $L$  between 2 and 4.
- Ratio between maximum head on labyrinth crest  $H$  and labyrinth height  $P$  between 0.45 and 0.70.
- Labyrinth width (in the upstream/downstream direction) of the order of 5 times the maximum head on crest  $H$ .

The hydraulics are complex, free flow being followed by submerged flow at high discharges.

Model tests may be justified for design purposes but for standard dimensions, a reasonable estimate of maximum capacity is given by :

$$Q = 1.7 L H \sqrt{n P}$$

( $Q$  in  $m^3/s$ ,  $L$ ,  $H$  and  $P$  in metres)

$$\text{soit } Q = 3 L H \sqrt{P}$$

for the usual value of  $n = 3$ .

Common designs double the discharge capacity of a straight sill, i.e. halve the spillway width for the same head on the crest, or reduce the head by 40% for a given spillway width. Flow coefficients can be improved with longer or deeper walls but

une réduction de 40 % de la hauteur de la lame d'eau pour une longueur donnée d'évacuateur. Les coefficients de débit peuvent être améliorés en adoptant des murs plus longs ou plus profonds, mais on s'éloigne alors de l'optimum économique, un gain de 10 % dans le débit spécifique nécessitant une augmentation de 20 % de la surface des murs, donc du coût.

Il faut souligner que le gain de capacité d'évacuation par rapport à un seuil rectiligne est moindre pour la crue de sécurité que pour la crue de projet. Le débit sur un labyrinthe augmente comme la profondeur  $H$  de l'écoulement, et non comme le facteur  $H^{1.5}$ . La comparaison et l'optimisation doivent donc se baser sur la crue de sécurité.

Les seuils déversants en labyrinthe, qui ont l'avantage de la fiabilité, sont adoptés principalement dans le cas de débits de 100-1 000 m<sup>3</sup>/s, pour les raisons probables suivantes :

Pour les petits évacuateurs de crue, le coût de l'étude et, le cas échéant, des essais sur modèle peut être un facteur pénalisant, bien qu'il soit possible de standardiser quelques modèles types pour les hauteurs courantes.

Les débits d'évacuation élevés nécessitent de grandes quantités de béton armé. Pour l'évacuateur en labyrinthe (15 000 m<sup>3</sup>/s) du barrage Ute (États-Unis), on a utilisé : 20 000 m<sup>3</sup> de béton armé, 20 000 m<sup>3</sup> de coffrage et 3 000 tonnes d'acier (en partie, pour la reprise des contraintes thermiques).

Les quantités de béton et d'acier par débit unitaire sont moindres pour les labyrinthes de dimensions plus courantes, mais les coffrages sont plus importants. L'empatement (direction amont-aval) des labyrinthes fixes rend leur installation difficile sur les barrages-voûtes et nécessite un épaissement de la crête des barrages-poids, cette mesure n'étant pas nécessairement prohibitive. La pérennité du béton armé peut poser des problèmes dans les climats très froids où les retenues gèlent. Les problèmes de vibration rencontrés parfois sont facilement résolus en aérant la nappe.

this is not the economic optimum, a 10% gain in specific discharge requiring a 20 % increase in wall area, i.e. in cost.

It must be stressed that gain in discharge capacity over a straight sill configuration is less for the extreme flood than for the design flood. Discharge over a labyrinth increases as the depth of the flow  $H$ , not as the power  $H^{1.5}$ . Comparison and optimisation must therefore be based on the extreme flood.

Labyrinth sills, which have the advantage of reliability, are used mainly for discharges of 100-1 000 m<sup>3</sup>/s, probably for the following reasons :

On small spillways, the cost of design and (if applicable) model testing may be a penalising factor although it would be possible to standardise a few typical models for common heights.

Large discharges require large quantities of reinforced concrete. The 15 000 m<sup>3</sup>/s Ute labyrinth in the USA required 20 000 m<sup>3</sup> reinforced concrete, 20 000 m<sup>2</sup> formwork, and 3 000 tonnes steel (partly to control thermal stresses).

Concrete and steel quantities per unit discharge are less for more common labyrinth sizes but more formwork is needed. The upstream/downstream base width of permanent labyrinths makes them difficult to fit on an arch dam and requires thickening of gravity dam crests, although this is not necessarily expensive. Reinforced concrete durability may raise problems in very cold climates where the reservoir freezes. The vibration problems sometimes encountered can be quite easily solved by aerating the nappe.



---

## ANNEXE IV

---

# COÛT D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN. EXEMPLES

### 1. INTRODUCTION

Cette annexe présente une analyse des coûts résultant de l'entretien et de l'exploitation des vannes des évacuateurs de crue et des vidanges de fond des barrages de Belesar, Peares, Las Conchas, Salas, Mao, Edrada, Portodemouros, Tambre, Velle, Castrelo, Frieira et Albarellos.

Ces barrages font partie d'aménagements hydroélectriques, avec une usine à proximité du barrage, ce qui conduit à des travaux importants d'entretien et de révision courante par des équipes techniques compétentes, disposant non seulement de personnel mais aussi de moyens en matériel permettant une bonne exécution des travaux d'entretien et de protection des vannes des barrages.

Tout d'abord, les travaux compris dans chacune des révisions des vannes des évacuateurs de crue et des vidanges de fond, et communs à tous les barrages, sont indiqués. On donne ensuite les caractéristiques de chaque barrage, et principalement de ses ouvrages d'évacuation, ainsi que les coûts d'entretien en hommes-heures et en \$ US.

### 2. TRAVAUX D'ENTRETIEN

#### 2.1. Vannes des évacuateurs de crue

Les révisions des vannes des évacuateurs de crue sont effectuées mensuellement et annuellement, et comprennent les opérations suivantes :

##### *Révision mensuelle*

Inspection visuelle :

- État de corrosion, usure et fuites d'eau, concernant la structure de la vanne, les chemins de roulement ou de glissement, les câbles, les chaînes et les appuis.
- État des moteurs, réducteurs, organes de transmission, paliers, poulies, organes d'accouplement et freins.
- Lubrification, état et niveau de l'huile dans les mécanismes.
- État de propreté, des peintures.
- Coffrets de disjoncteur et coffrets de commande. Leur état général, la signalisation, la tension, la puissance, le dispositif d'éclairage et le dispositif de chauffage seront vérifiés.

---

## APPENDIX IV

---

### COST OF OPERATION AND MAINTENANCE. EXAMPLES

#### 1. INTRODUCTION

This appendix presents an analysis of the cost derived from maintenance and operation of the spillway gates and outlet valves of the dams of Belesar, Peares, Las Conchas, Salas, Mao, Edrada, Portodemouros, Tambre, Velle, Castrelo, Frieira and Albarellos.

The fact that these dams are integrated in hydroelectric developments, means that there exists an hydroelectric power plant very close to them, which requires some major works of maintenance and routine overhaul, by adequate technical teams, which is provided by the availability, not only of personnel but also the material means necessary for the works of maintenance and conservation of the gates and outlet valves of the dams.

In the first place are exposed the works included in each one of the revisions of spillway gates and bottom outlets, that are common to all dams. Next the characteristics of each dam, fundamentally of its outlet elements, and the costs corresponding to the maintenance works are dealt with in man hours and US\$.

#### 2. MAINTENANCE WORKS

##### 2.1. Spillway gates

In the spillway gates revisions are carried out monthly and yearly, including in each one of them the following operations.

###### *Monthly revision*

Visual inspection of :

- State of corrosion, wear and leakages of water in the gate structure, guides, cables, chains and supports.
- The state of motors, reducers, transmissions, bearings, pullies, clutches and brakes.
- Lubrication, state of the oil and levels of this in mechanisms.
- Cleaning, painting in general.
- Automatic cutout boxes and control boxes. Their general state, signalling, control voltage, power, lighting and heating should be checked.

Essais et mesures :

- Des essais de manœuvre, réels ou simulés, seront exécutés, avec vérification du bon fonctionnement électrique et mécanique.
- L'isolation des moteurs sera mesurée.

#### *Révision annuelle*

Elle comprend la révision proprement dite, des mesures, des réglages et la lubrification.

Opérations :

- Tout d'abord, le dispositif de manœuvre électrique sera mis hors circuit, en coupant l'alimentation en énergie.
- Un graissage général sera effectué sur les mécanismes, roues, galets de roulement, pivots, coussinets en bronze et articulations, jusqu'à ce que de la graisse propre sorte.
- Un léger graissage des paliers sera réalisé, en ne dépassant pas les 2/3 du niveau du réservoir à graisse du palier.
- Inspection de l'état général, de l'état : des mécanismes, de l'huile dans les carters des mécanismes (en observant s'il y a des particules métalliques), des engrenages ou pignons et vis sans fin, des sabots de frein et de leur réglage.

En cas d'anomalie, la réparation sera effectuée ; l'huile sera changée si elle est altérée ou contient trop de particules métalliques – avec filtration et récupération si c'est possible.

- Dans les armoires et sur les tableaux des installations de commutation et de contrôle électrique, les opérations suivantes seront effectuées :

- Nettoyage général, graissage des articulations, vérification de l'état de conservation.
- État des compteurs, relais, interrupteurs, boutons de contact, etc.
- Vérification des fins de course, des résistances, des éléments chauffants.
- Vérification des signaux de mesure et des protections.
- Mesure de résistance de terre.
- Mesure d'isolation.

- Dans les moteurs électriques, l'isolation, la consommation et les vibrations seront mesurées.

- L'état de tous les joints d'étanchéité des vannes, et également des armoires et tableaux électriques, sera contrôlé.

- Une fois la révision terminée, les raccordements mécaniques et électriques seront rétablis.

- Des essais de manœuvre seront exécutés, en vérifiant le bon fonctionnement électrique et mécanique.

#### *Travaux d'entretien effectués à des intervalles dépassant un an*

Peinture : tous les 8 ans environ.

Tests and measurements :

- Operating tests, real or simulated will be carried out, observing the correct electrical and mechanical functioning.
- The insulation of motors will be measured.

*Annual revision*

It includes the revision itself, measurement, adjustments and lubrication.

Operations :

- In the first place, the electrical gear should be disconnected, cutting the power supply.
- A general greasing will be carried out of mechanisms, wheels, rollers, pivots, bronze bearings and articulations until clean grease emerges.
- A light greasing will be carried out of bearings, never exceeding the 2/3 level of the grease chamber of the bearing.
- Inspection of the general state, state of the mechanisms, state of the oil in the housings of the mechanisms, observing if metallic particles exist, state of the gearwheels or sprockets and worm gear, state of the brake shoes and adjustment of brakes.

If any anomaly is observed its repair will be proceeded with, the oil will be changed if it is in poor condition or with excess of metallic particles, filtering it and recovering it if it is feasible.

- In the cabinets and panels of switchgear and electrical control the following procedures will be carried out :
  - General cleaning, greasing of articulations, inspection of the state of conservation.
  - State of meters, relays, switches, push-buttons, etc.
  - Checking of end of stroke, resistances and heating elements.
  - Checking of signalling of measure and protections.
  - Measurement of resistance to earth.
  - Measurement of insulation.
- In the electric motors insulation, consumption and vibrations will be measured.
- The state of all the sealing gaskets, both of the gate as also those of cabinets and panels will be revised.
- Once the revision is completed, the mechanical and electrical connections will be restored.
- Operational tests will be made, observing the correct electrical and mechanical functioning of the whole.

*Works which are carried out at intervals exceding one year*

Painting : Painting will be carried out every 8 years approximately.

Graissage des chaînes : tous les 3 ans.  
Changement des joints : suivant l'état de ceux-ci.

## **2.2. Ouvrages de vidange de fond**

Les inspections des ouvrages de vidange de fond seront trimestrielles et annuelles.

### *Révision trimestrielle*

– Une inspection visuelle de l'état général est effectuée, en vérifiant les pertes éventuelles d'huile et d'eau, l'isolation des moteurs et l'état des armoires de contrôle.

### *Révision annuelle*

- Nettoyage et lubrification des tiges des mécanismes.
- Inspection générale de tous les mécanismes.
- Vérification du niveau d'huile dans le réservoir.
- Inspection des moteurs, pompes à huile et couplage des moteurs.
- Inspection des armoires de contrôle et des fins de course.
- Une fois l'inspection terminée, le fonctionnement de l'installation sera vérifié.

### *Travaux exécutés à des intervalles dépassant un an*

Peinture : tous les 5 ans environ.  
Changement des joints : suivant l'état de ceux-ci.

## **3. COÛT D'ENTRETIEN DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE DES OUVRAGES D'ÉVACUATION**

Les coûts de l'entretien annuel du matériel électromécanique des barrages de Belesar, Peares, Las Conchas, Salas, Mao, Edrada, Portodemouros, Tambre, Velle, Castrelo, Frieira et Albarellas, sont indiqués ci-après.

Les travaux exécutés sont ceux précisés ci-dessus.

Dans chaque Tableau sont données les caractéristiques principales du barrage et du matériel électromécanique des ouvrages d'évacuation.

Le coût annuel d'entretien, en hommes-heures et en \$ US, est également indiqué pour les évacuateurs de crue et les vidanges de fond ; il correspond à l'exécution des travaux énumérés précédemment, une partie des travaux étant exécutée à des intervalles supérieurs à un an.

Greasing of chains : The greasing will be carried out every 3 years.

Change of gaskets : It will be carried out according to the state of these.

## **2.2. Bottom outlets**

In the bottom outlet elements quarterly and annual inspections will be carried out.

### *Three-monthly review*

– A visual inspection is made of the general state, checking possible losses of oil and water and the insulation of motors and reviewing the state of the control cabinet.

### *Annual review*

- Cleaning and oiling of shanks.
- General inspection of all the mechanisms.
- Checking of the level of the oil in the tank.
- Inspection of motors, oil pumps and motor couplings.
- Inspection of the control cabinet and end of stroke.
- After completing the inspection, the functioning of the installation will be checked.

### *Works which will be carried out with periods exceeding one year*

Painting : Painting will be carried out out every 5 years approximately.

Change of seals and gasket : It will be done according to the state of these.

## **3. COST OF MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT OF OUTLETS**

Subsequently, the costs of annual maintenance of the electromechanical elements of the dams of Belesar, Peares, Las Conchas, Salas, Mao, Edrada, Portodemouros, Tambre, Velle, Castrelo, Frieira and Albarells. are included.

The works which are carried out are those which have been indicated previously.

In each Index Card, are indicated the characteristics of the dam, and of the electromechanical elements of the outlet elements.

The annual cost, in man hours and US\$, is also included both for in Spillways and Bottom outlets, corresponding to the carrying out of the works indicated, a proportional part of the works which are carried out at intervals of more than a year.



<b>DAM</b>	<b>BELESAR</b>	<b>TYPE</b>	Arch	<b>HEIGHT</b>	129 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	4 000 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Voûte	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	

<b>SPILLWAY</b>	Two (2) spillways. One on each abutment
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>	Deux (2) évacuateurs. Un sur chaque appui

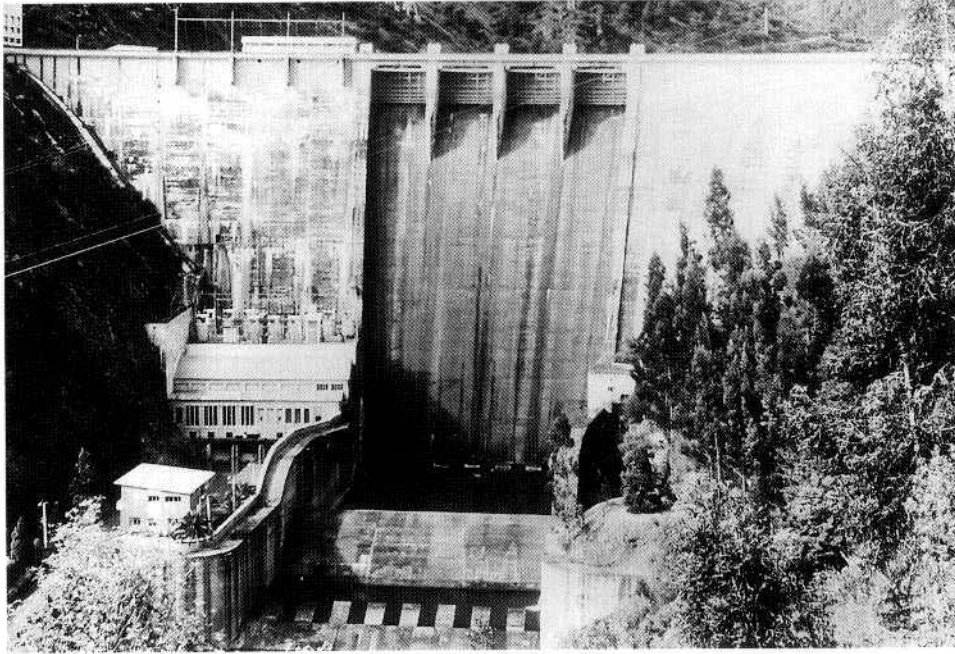
<b>TYPE OF GATE</b>	Right Bank, three (3) radial gates of 7 m x 7 m
	On the Left Bank, three (3) fixed wheel gates of 10 m x 10 m
<b>TYPE DE VANNE</b>	Rive droite : Trois (3) vannes segment 7 m x 7 m
	Rive gauche : Trois (3) vannes wagon 10 m x 10 m

<b>BOTTOM OUTLET</b>	Four (4) bottom outlets Ø 1.50 m
<b>VIDANGE DE FOND</b>	Quatre (4) conduits de vidange de fond Ø 1,50 m

<b>TYPE OF VALVE</b>	Each one of the outlets is equipped with a sluice gate (1 m x 1.5 m) and a hollow jet valve Ø of 1.10 m
<b>TYPE DE VANNE</b>	Chaque conduit est équipé d'une vanne à glissières (1 m x 1,5 m) et d'une vanne à jet creux (Ø 1,10 m)

**COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT**  
**COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE**

Spillway/Évacuateur de crue :	350 man hours/hommes-heures	14 000 US \$
Bottom outlet/Vidange de fond :	80 man hours/hommes-heures	2 900 US \$



<b>DAM</b>	LOS PEARES	<b>TYPE</b>	Gravity	<b>HEIGHT</b>	94 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	3 500 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Poids	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	

<b>SPILLWAY</b>	Overflow with stilling basin
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>	Déversoir avec bassin de dissipation

<b>TYPE OF GATE</b>	Stoney type gates of 15.0 m in span and 9.25 m in height
<b>TYPE DE VANNE</b>	Vannes Stoney de 15 m de portée et 9,25 m de hauteur

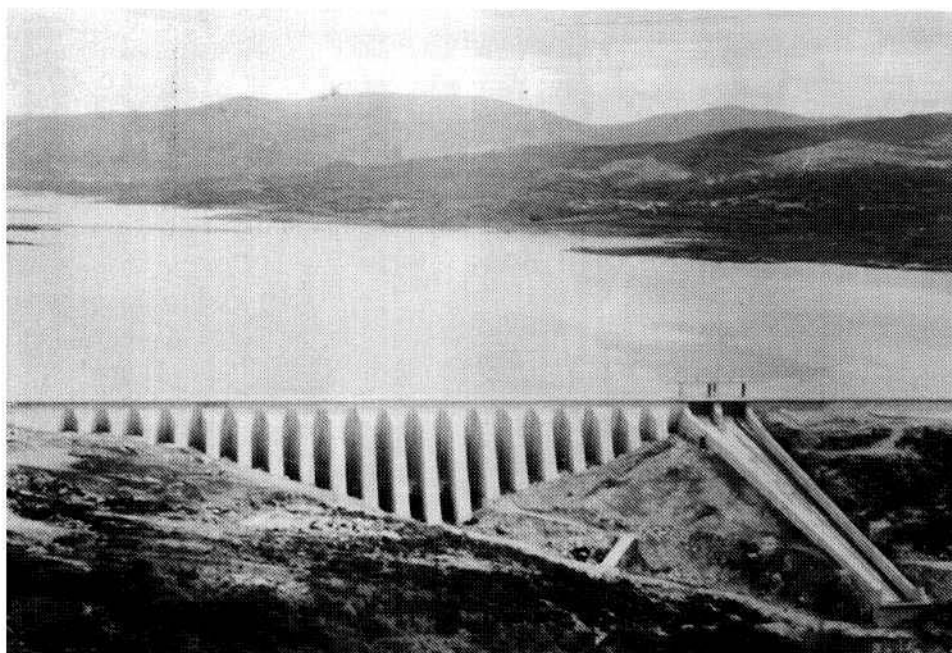
<b>BOTTOM OUTLET</b>	Two (2) pipes of two (2) m in diameter
<b>VIDANGE DE FOND</b>	Deux (2) conduits Ø 2 m

<b>TYPE OF VALVE</b>	Sluice gate valves (4)
<b>TYPE DE VANNE</b>	Vannes à glissières (4)

**COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT**  
**COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE**

Spillway/Évacuateur de crue :	240 man hours/hommes-heures	9 800 US \$
Bottom outlet/Vidange de fond :	60 man hours/hommes-heures	2 000 US \$





<b>DAM SALAS</b>	<b>TYPE</b>	Buttress	<b>HEIGHT</b>	50 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	640 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>	<b>TYPE</b>	Contreforts	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>		On the Left Bank of the Dam				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>		Sur la rive gauche du barrage				
<b>TYPE OF GATE</b>		Two (2) fixed wheel gates of 11.59 m of span and 5 m in height				
<b>TYPE DE VANNE</b>		Deux (2) vannes wagon de 11,59 m de portée et 5 m de hauteur				
<b>BOTTOM OUTLET</b>		Two (2) pipes Ø 1 m				
<b>VIDANGE DE FOND</b>		Deux (2) conduits Ø 1 m				
<b>TYPE OF VALVE</b>		Each pipe is equipped with a sluice gate and a hollow jet valve				
<b>TYPE DE VANNE</b>		Chaque conduit est équipé d'une vanne à glissières et d'une vanne à jet creux				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>						
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>						
Spillway/Évacuateur de crue :		130 man hours/hommes-heures	6 900 US \$			
Bottom outlet/Vidange de fond :		50 man hours/hommes-heures	2 000 US \$			



<b>DAM</b>	<b>LAS CONCHAS</b>	<b>TYPE</b>	Gravity	<b>HEIGHT</b>	44 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	900 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Poids	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>			Overflow				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>			Déversoir				
<b>TYPE OF GATE</b>			Two Stoney type gates of 10 m x 8 m				
<b>TYPE DE VANNE</b>			Deux vannes Stoney de 10 m x 8 m				
<b>BOTTOM OUTLET</b>			Composed of two (2) pipes				
<b>VIDANGE DE FOND</b>			Deux (2) conduits				
<b>TYPE OF VALVE</b>			4 sluice valves				
<b>TYPE DE VANNE</b>			4 vannes à glissières				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>							
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>							
			Spillway/Évacuateur de crue :	120 man hours/hommes-heures		5 100 US \$	
			Bottom outlet/Vidange de fond :	40 man hours/hommes-heures		1 300 US \$	



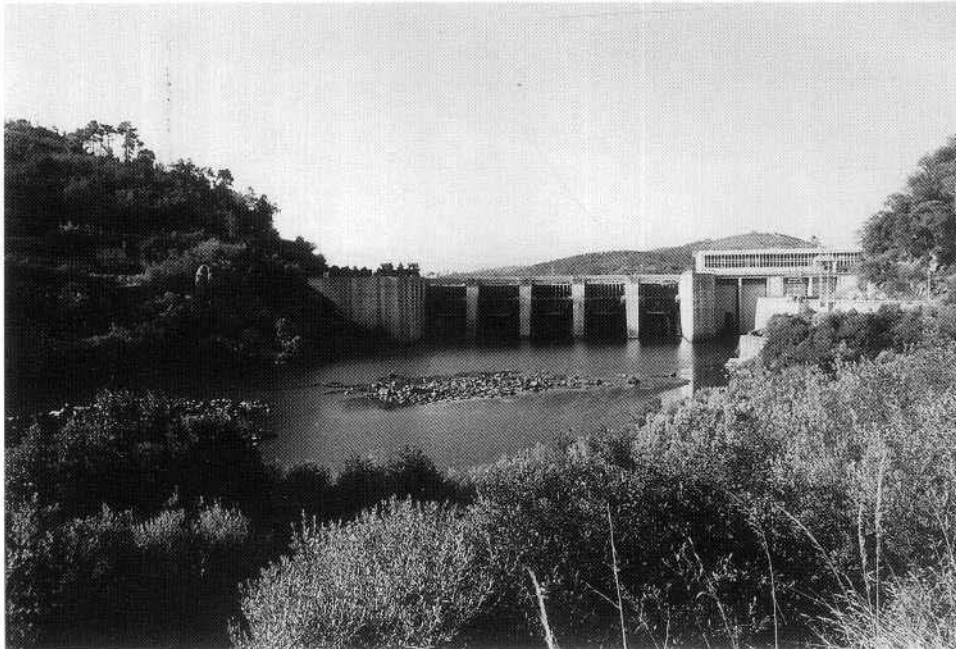
<b>DAM MAO</b>	<b>TYPE</b>	Gravity	<b>HEIGHT</b>	24 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	140 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>	<b>TYPE</b>	Poids	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>		Overflow				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>		Déversoir				
<b>TYPE OF GATE</b>		Two fixed wheel gates of 6 m in span and 3.50 m in height				
<b>TYPE DE VANNE</b>		Deux vannes wagon de 6 m de portée et 3,50 m de hauteur				
<b>BOTTOM OUTLET</b>		Two (2) pipes Ø 1 m				
<b>VIDANGE DE FOND</b>		Deux (2) conduits Ø 1 m				
<b>TYPE OF VALVE</b>		4 sluice gates				
<b>TYPE DE VANNE</b>		4 vannes à glissières				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>						
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>						
	Spillway/Évacuateur de crue :	120 man hours/hommes-heures			4 500 US \$	
	Bottom outlet/Vidange de fond :	40 man hours/hommes-heures			1 600 US \$	



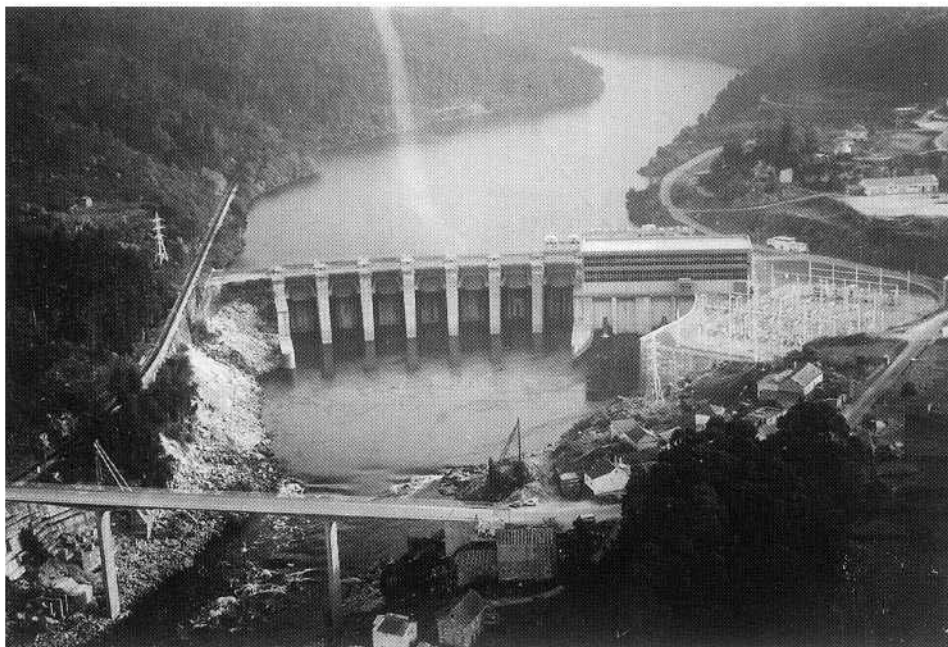
<b>DAM</b>	EDRADA	<b>TYPE</b>	Gravity	<b>HEIGHT</b>	37 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	150 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Poids	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>			Overflow				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>			Déversoir				
<b>TYPE OF GATE</b>			Two fixed wheel gates of 6 m in span and 3.50 m in height				
<b>TYPE DE VANNE</b>			Deux vannes wagon de 6 m de portée et 3,50 m de hauteur				
<b>BOTTOM OUTLET</b>			Two (2) pipes Ø 1 m				
<b>VIDANGE DE FOND</b>			Deux (2) conduits Ø 1 m				
<b>TYPE OF VALVE</b>			Each outlet is equipped with a vertical sluice gate and a hollow jet valve				
<b>TYPE DE VANNE</b>			Chaque conduit est équipé d'une vanne à glissières verticale et d'une vanne à jet creux				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>							
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>							
	Spillway/Évacuateur de crue :		120 man hours/hommes-heures			4 500 US \$	
	Bottom outlet/Vidange de fond :		50 man hours/hommes-heures			1 700 US \$	



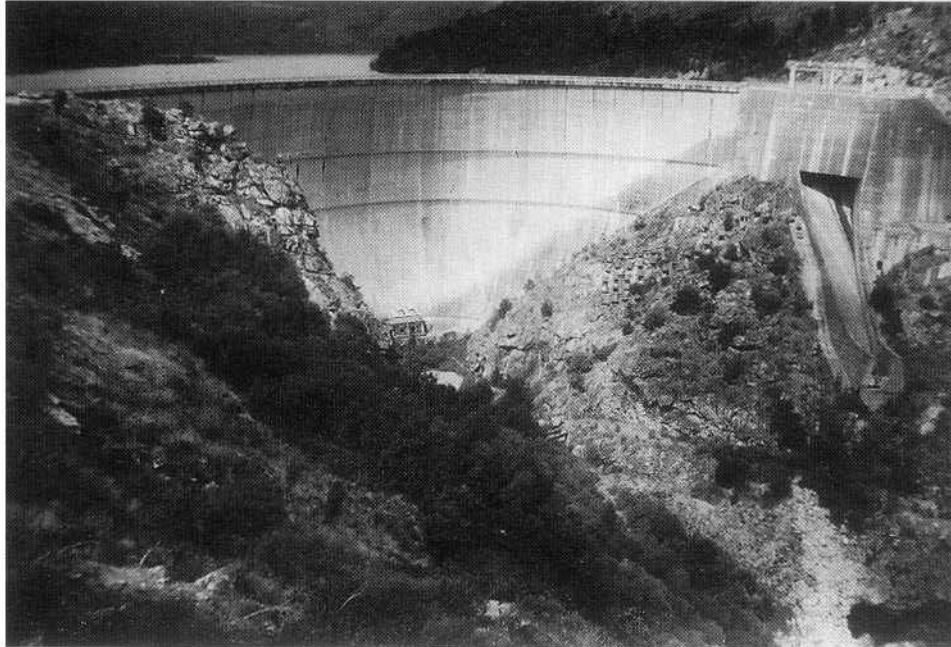
<b>DAM VELLE</b>	<b>TYPE</b>	Barrage	<b>HEIGHT</b>	26 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	8 000 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>	<b>TYPE</b>	Barrage mobile	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>		Five (5) openings of 25 m in length by 10 m in height				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>		Cinq (5) pertuis de 25 m de largeur et 10 m de hauteur				
<b>TYPE OF GATE</b>		Five (5) Tainter type gates				
<b>TYPE DE VANNE</b>		Cinq (5) vannes segment				
<b>BOTTOM OUTLET</b>		It has no bottom outlet due to it being a gate-structure dam				
<b>VIDANGE DE FOND</b>		En raison du type de barrage (barrage mobile), il n'y a pas de vidange de fond				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>						
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>						
	Spillway/Évacuateur de crue :		340 man hours/hommes-heures		15 000 US \$	



<b>DAM CASTRELO</b>	<b>TYPE</b>	Barrage	<b>HEIGHT</b>	30 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	8 650 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>	<b>TYPE</b>	Barrage mobile	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>						
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>						
<b>TYPE OF GATE</b>						
<b>TYPE DE VANNE</b>						
<b>BOTTOM OUTLET</b>						
<b>VIDANGE DE FOND</b>						
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>						
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>						
Spillway/Évacuateur de crue :			340 man hours/hommes-heures			15 000 US \$



<b>DAM FRIEIRA</b>	<b>TYPE</b>	Barrage	<b>HEIGHT</b>	33 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	10 000 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>	<b>TYPE</b>	Barrage mobile	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>		Seven (7) openings of 15.50 m in length by 14.40 in height				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>		Sept (7) pertuis de 15,50 m de largeur et 14,40 m de hauteur				
<b>TYPE OF GATE</b>		Seven (7) Tainter type gates				
<b>TYPE DE VANNE</b>		Sept (7) vannes segment				
<b>BOTTOM OUTLET</b>		It has no bottom outlet due to it being a gate-structure dam				
<b>VIDANGE DE FOND</b>		En raison du type de barrage (barrage mobile), il n'y a pas de vidange de fond				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>						
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>						
Spillway/Évacuateur de crue :		460 man hours/hommes-heures			22 000 US \$	



<b>DAM</b>	ALBARELLOS	<b>TYPE</b>	Arch	<b>HEIGHT</b>	90 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	640 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Voûte	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	

<b>SPILLWAY</b>	Located on the abutment of the Left Bank
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>	Situé sur l'appui rive gauche

<b>TYPE OF GATE</b>	Two fixed wheel gates of 8 m in span and 7 m in height
<b>TYPE DE VANNE</b>	Deux vannes wagon de 8 m de portée et 7 m de hauteur

<b>BOTTOM OUTLET</b>	Formed by two (2) pipes $\varnothing$ 1,50 m
<b>VIDANGE DE FOND</b>	Deux (2) conduits $\varnothing$ 1,50 m

<b>TYPE OF VALVE</b>	Four (4) sluice gates
<b>TYPE DE VANNE</b>	Quatre (4) vannes à glissières

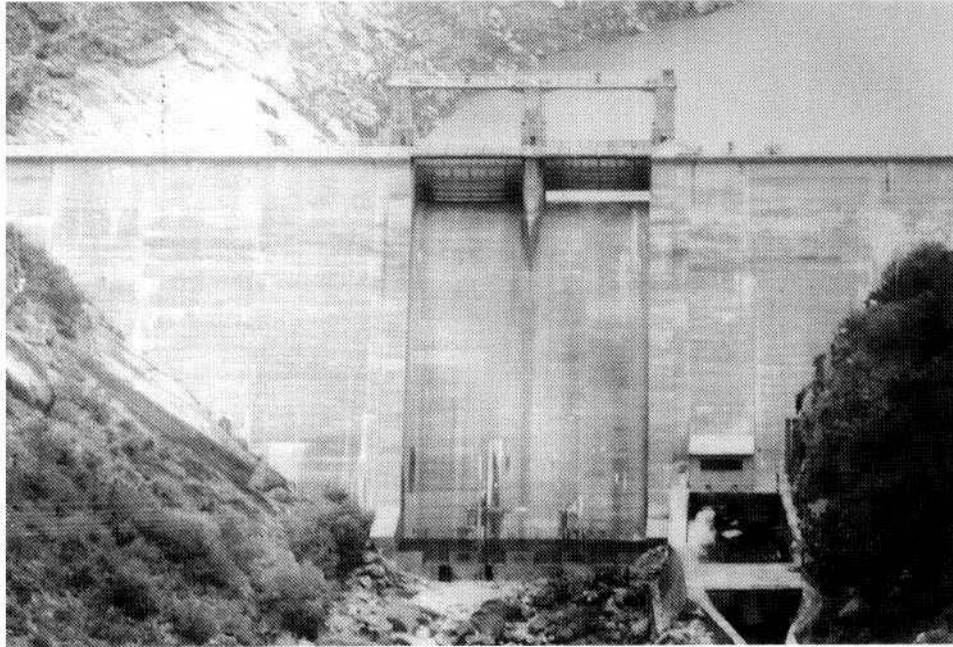
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>	
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>	

Spillway/Évacuateur de crue :	130 man hours/hommes-heures	5 200 US \$
Bottom outlet/Vidange de fond :	40 man hours/hommes-heures	1 500 US \$





<b>DAM PORTODEMOUROS BARRAGE</b>	<b>TYPE</b> Earthfill <b>TYPE</b> Terre	<b>HEIGHT</b> 93 m <b>HAUTEUR</b>	<b>DESIGN FLOOD</b> 1 550 m <sup>3</sup> /s <b>CRUE DE PROJET</b>
<b>SPILLWAY</b>	Side spillway on the Left Bank. One gate of 4 m in width and 8 m in height, located at the head of the side spillway		
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>	Évacuateur latéral sur la rive gauche. Une vanne de 4 m de largeur et 8 m de hauteur, située en tête de l'évacuateur		
<b>TYPE OF GATE</b>	One fixed wheel gate of 4 m in span and 8 m in height		
<b>TYPE DE VANNE</b>	Une vanne wagon de 4 m de portée et 8 m de hauteur		
<b>BOTTOM OUTLET</b>	Two pipes installed in the temporary diversion tunnel		
<b>VIDANGE DE FOND</b>	Deux conduits installés dans la galerie de dérivation provisoire		
<b>TYPE OF VALVE</b>	4 sluice gates of 1.65 m x 3.30 m		
<b>TYPE DE VANNE</b>	4 vannes à glissières 1,65 m x 3,30 m		
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>			
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>			
Spillway/Évacuateur de crue :	70 man hours/hommes-heures	2 500 US \$	
Bottom outlet/Vidange de fond :	50 man hours/hommes-heures	2 000 US \$	



<b>DAM</b>	TAMBRE	<b>TYPE</b>	Gravity	<b>HEIGHT</b>	48 m	<b>DESIGN FLOOD</b>	1 100 m <sup>3</sup> /s
<b>BARRAGE</b>		<b>TYPE</b>	Poids	<b>HAUTEUR</b>		<b>CRUE DE PROJET</b>	
<b>SPILLWAY</b>			Overflow				
<b>ÉVACUATEUR DE CRUE</b>			Déversoir				
<b>TYPE OF GATE</b>			Two Stony type gates of 14 m in span and 7 m in height				
<b>TYPE DE VANNE</b>			Deux vannes Stony de 14 m de portée et 7 m de hauteur				
<b>BOTTOM OUTLET</b>			Two pipes Ø 1.40 m				
<b>VIDANGE DE FOND</b>			Deux conduits Ø 1,40 m				
<b>TYPE OF VALVE</b>			Sluice gate type and hollow jet valve type situated in series in each of the pipes				
<b>TYPE DE VANNE</b>			Une vanne à glissières et une vanne à jet creux situées en série dans chaque conduit				
<b>COST OF ANNUAL MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT</b>							
<b>COÛT DE L'ENTRETIEN ANNUEL DU MATÉRIEL ÉLECTROMÉCANIQUE</b>							
	Spillway /Évacuateur de crue :		120 man hours/hommes-heures			5 000 US \$	
	Bottom outlet :		They are really the intake of the canal which transports the water to the power station ; therefore, its operation is very much more frequent than in normal bottom outlets, and the cost of maintenance is not considered representative.				
	Vidange de fond :		À vrai dire, la vidange de fond constitue la prise d'eau du canal d'amenée à l'usine hydroélectrique. Son fonctionnement est donc beaucoup plus fréquent que celui d'une vidange de fond normale, et le coût d'entretien n'est pas considéré comme représentatif.				

Table 19 - Tableau 19

Spanish dams - Annual cost of maintenance of electromechanical equipment  
Barrages espagnols - Coût annuel d'entretien du matériel électromécanique

SPILLWAYS/ÉVACUATEURS DE CRUE												
Dam/Barrage	Belesar	Peares	Salas	Conchas	Mao	Edrada	Velle	Castrelo	Frieira	Albarellos	Portodem.	Tambre
Number of gates Nombre de vannes	6	4	2	2	2	2	5	5	7	2	1	2
Total area gates (m <sup>2</sup> ) Surface totale des vannes (m <sup>2</sup> )	447	555	115	160	42	42	1 250	1 250	1 500	112	32	196
Total man hours Total hommes-heures	350	240	130	120	120	120	340	340	460	130	70	120
Man hours/gate Hommes-heures par vanne	58.3	60	65	60	60	60	68	68	65.7	65	70	60
Total cost (US \$) Coût total (US \$)	14 000	9 800	6 900	5 100	4 500	4 500	15 000	15 000	22 000	5 200	2 500	5 000
Cost per gate (US \$) Coût par vanne (US \$)	2 333	2 450	3 450	2 550	2 250	2 250	3 000	3 000	3 142	2 600	2 500	2 500
Cost per m <sup>2</sup> (US \$) Coût par m <sup>2</sup> (US \$)	31.33	17.65	60	32.9	107	107	12	12	14.7	46.4	78.1	25.5
BOTTOM OUTLETS/VIDANGES DE FOND												
Number of valves Nombre de vannes	8	4	4	4	4	4	-	-	-	4	4	-
Total man hours Total hommes-heures	80	60	50	40	40	50	-	-	-	40	50	-
Man hours per valve Hommes-heures par vanne	10	15	12.5	10	10	12.5	-	-	-	10	12.50	-
Total cost (US \$) Coût total (US \$)	2 900	2 000	2 000	1 300	1 600	1 700	-	-	-	1 500	2 000	-
Cost per valve (US \$) Coût par vanne (US \$)	362.5	500	500	325	400	425	-	-	-	325	500	-

Imprimerie de Montlignon  
61400 La Chapelle Montlignon  
Dépôt légal : novembre 1997  
N° 18728  
ISSN 0534-8293

***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>*