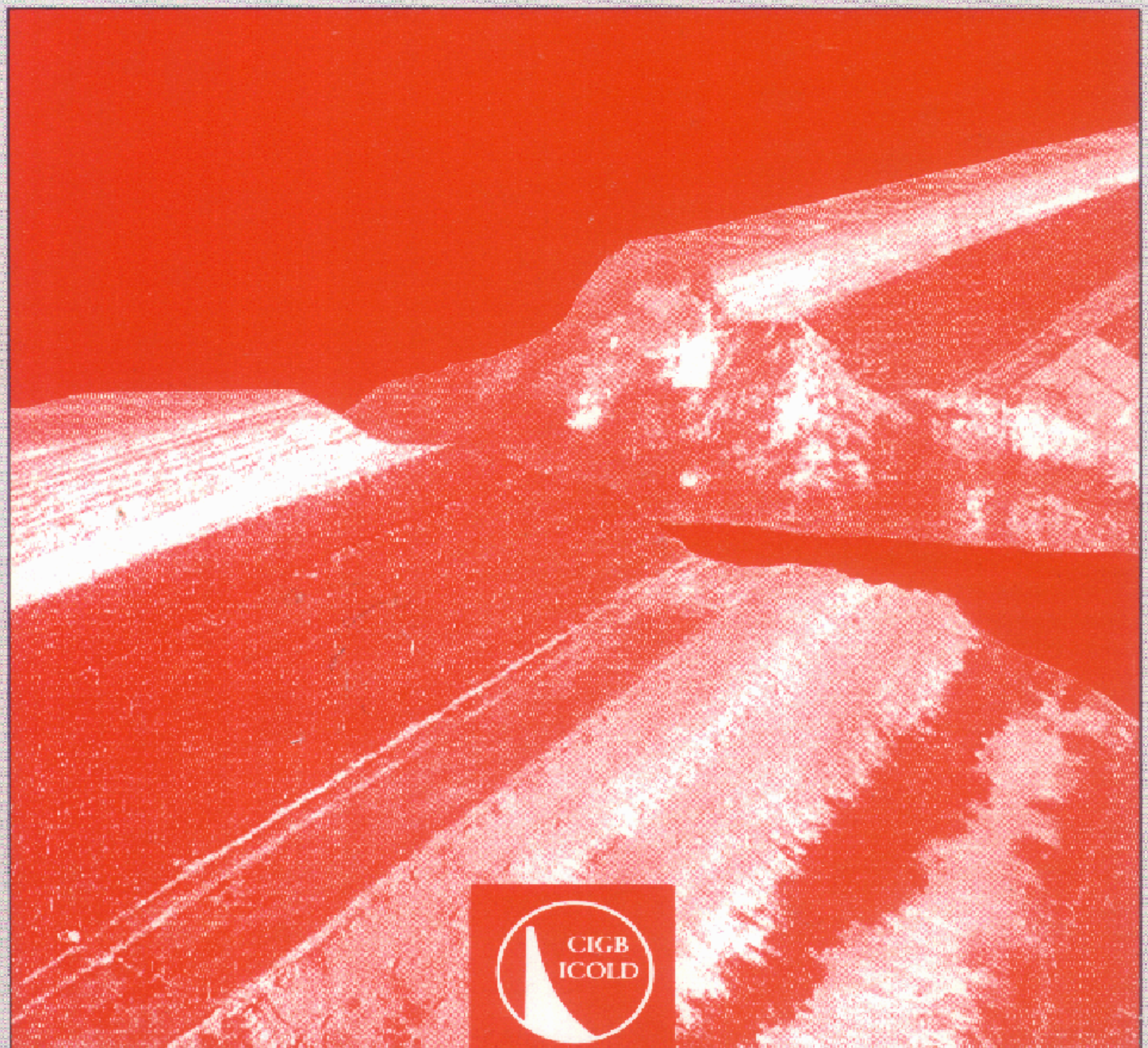


DAM FAILURES STATISTICAL ANALYSIS

RUPTURES DE BARRAGES ANALYSE STATISTIQUE

Bulletin 99



1995

DAM FAILURES STATISTICAL ANALYSIS

RUPTURES DE BARRAGES ANALYSE STATISTIQUE

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris
Tél. : (33-1) 40 42 67 33 - Télex : 641320 ICOLD F - Fax : (33-1) 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.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION

2. CONCLUSIONS RÉSUMÉES

3. ANALYSE DES
INFORMATIONS RECUEILLIES

4. ACCIDENTS EN COURS DE
CONSTRUCTION

ANNEXES

CONTENTS

FOREWORD

1. INTRODUCTION

2. SUMMARY OF CONCLUSIONS

3. GENERAL ANALYSIS OF
DATA COLLECTED

4. FAILURES DURING
CONSTRUCTION

APPENDICES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	8
1. INTRODUCTION	10
2. CONCLUSIONS RÉSUMÉES	16
3. ANALYSE DES INFORMATIONS RECUEILLIES	18
3.1. Taille des barrages rompus et volume de leur réservoir	18
3.2. Ruptures selon la hauteur	20
3.3. Ruptures selon le type de barrage	20
3.4. Age des barrages rompus	24
3.5. Ruptures selon la date de construction	26
3.6. Barrages en béton	28
3.7. Barrages en remblai	30
3.8. Barrages en maçonnerie	30
3.9. Ouvrages annexes	32
3.10. Mesures prises après rupture	34
4. ACCIDENTS EN COURS DE CONSTRUCTION	36
ANNEXES	47
Annexe I - Classification des « causes de rupture »	48
Annexe II - Classification des « types de rupture »	54
Annexe III - Classification des « moments des ruptures »	56
Annexe IV - Classification des « mesures prises après rupture »	58
Annexe V - Codes des « types de barrage »	60
Annexe VI - Questionnaire sur les ruptures de barrages	62

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD	9
1. INTRODUCTION	11
2. SUMMARY OF CONCLUSIONS	17
3. GENERAL ANALYSIS OF DATA COLLECTED	19
3.1. Failed Dam Size and Reservoir Capacity	19
3.2. Failures vs Dam Height	21
3.3. Failures vs Dam Type	21
3.4. Ages of Failed Dams	25
3.5. Failures by Year of Construction	27
3.6. Concrete Dams	29
3.7. Embankment Dams	31
3.8. Masonry Dams	31
3.9. Appurtenant Works	33
3.10. Remedial Measures	35
4. FAILURES DURING CONSTRUCTION	37
APPENDICES	47
Appendix I - Codes for “ Causes of Failure ”	49
Appendix II - Codes for “ Failure Types ”	55
Appendix III - Codes for “ Occasions of Failure ”	57
Appendix IV - Codes for “ Remedial Measures ”	59
Appendix V - Codes for “ Dam Types ”	61
Appendix VI - Questionnaire on Dam Failures	63

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

- Fig. 1. – Ruptures selon la hauteur du barrage.
- Fig. 2. – Ruptures selon le volume du réservoir.
- Fig. 3. – Comparaison des rapports $\frac{\text{barrages rompus de hauteur } H}{\text{total des barrages rompus}}$ et $\frac{\text{barrages existants de hauteur } H}{\text{total des barrages existants}}$.
- Fig. 4. – Nombre de ruptures selon le type et la hauteur du barrage.
- Fig. 5. – Comparaison des rapports $\frac{\text{barrages rompus de type } T}{\text{total des barrages rompus}}$ et $\frac{\text{barrages existants de type } T}{\text{total des barrages existants}}$.
- Fig. 6. – Nombre de ruptures selon le type, la hauteur et l'époque de la construction.
- Fig. 7. – Ruptures selon l'âge du barrage.
- Fig. 8. – Ruptures selon l'âge du barrage (inférieur à 10 ans).
- Fig. 9. – Ruptures selon la date de la construction.
- Fig. 10. – Causes des ruptures des barrages en béton.
- Fig. 11. – Causes des ruptures des barrages en remblai.
- Fig. 12. – Causes des ruptures des barrages en maçonnerie.
- Fig. 13. – Causes des ruptures des ouvrages annexes.
- Fig. 14. – Mesures prises après rupture.
- Tableau 1. – Liste des ruptures de barrages.

LIST OF FIGURES AND TABLE

- Fig. 1. – Failures by height of dams.
- Fig. 2. – Failures by reservoir capacity.
- Fig. 3. – Comparison of ratios $\frac{\text{failed dams of height H}}{\text{total failed dams}}$ and $\frac{\text{existing dams of height H}}{\text{total existing dams}}$.
- Fig. 4. – Number of failures by type and height of dams.
- Fig. 5. – Comparison of ratios $\frac{\text{failed dams of type T}}{\text{total failed dams}}$ and $\frac{\text{existing dams of type T}}{\text{total number of dams}}$.
- Fig. 6. – Number of failures by type, height and year of construction.
- Fig. 7. – Failures by age of failed dams.
- Fig. 8. – Failures by age of failed dams (less than 10 years old).
- Fig. 9. – Failures by year of construction.
- Fig. 10. – Causes of failure in concrete dams.
- Fig. 11. – Causes of failure in embankment dams.
- Fig. 12. – Causes of failure in masonry dams.
- Fig. 13. – Causes of failure in appurtenant works.
- Fig. 14. – Remedial measures.
- Tableau 1. – List of failed dams.

AVANT-PROPOS

Les accidents industriels ont toujours été source de progrès pour l'homme et même, pendant très longtemps, la principale source de progrès. Cette observation est tout spécialement valable pour les barrages et c'est pourquoi, à trois reprises, la CIGB a lancé une vaste enquête mondiale dans le but de rassembler la plus large information possible sur les ruptures et/ou incidents relatifs aux barrages. Dans les années 70 a été établi « Leçons tirées des accidents de barrages », dans les années 80 « Détérioration de barrages et réservoirs » et aujourd'hui « Analyse statistique des ruptures de barrages ».

Ce troisième travail, beaucoup moins considérable que ses deux devanciers, s'est efforcé d'éviter les redites et d'apporter des réponses à des questions demeurées jusqu'ici sans réponses objectives : les ruptures de barrages sont-elles plus fréquentes pour tel type de barrage que pour tel autre ? pour telle hauteur de barrage que pour telle autre ?

Le mérite de cette approche nouvelle revient entièrement au regretté Professeur J. Laginha Serafim, ancien Vice-Président de la CIGB, Président du Comité ad hoc de l'interprétation statistique des ruptures de barrages. Celui-ci, avec l'aide de ses collaborateurs et étudiants de l'Université de Coimbra (Portugal), a mis sur support informatique à la fois les principales données du Registre Mondial des Barrages et les informations relatives aux barrages rompus. De la sorte, et pour la première fois, on a pu comparer le nombre de barrages rompus et le nombre de barrages existants par catégorie d'ouvrages.

J'ai été chargé, par le Président de la CIGB, d'achever une tâche que la maladie a empêché le Professeur Serafim de terminer. J'ai essayé de conserver l'essentiel des idées qu'il avait introduites, avec le concours actif de ses anciens collaborateurs et notamment de M. J. M. Coutinho Rodrigues.

A ceux-ci et à toutes les personnes qui ont contribué à la préparation de ce Bulletin revient tout le mérite du travail accompli.

A. Goubet
Vice-Président
du Comité ad hoc de l'Interprétation
Statistique des Ruptures de Barrages

FOREWORD

Accidents in industry have always been a spur to human progress and, for many years, was even the main driving force. This is especially true in dam engineering and, for this reason, ICOLD has on three occasions instigated worldwide surveys to collect the largest amount of information on dam accidents and/or incidents. The nineteen-seventies saw the appearance of Lessons from Dams Accidents, the eighties produced Deterioration of Dams and Reservoirs, and now we have Statistical Analysis of Dam Failures.

This third effort, much more restricted in its scope than its two predecessors, strives to avoid duplications with earlier work, but to find responses to questions than have hitherto found no objective answer : are some dam types, or some dam heights, more prone to failure than others?

Merit for this new approach goes entirely to the late Professor J. Laginha Serafim, former ICOLD Vice-President and Chairman of the ad hoc Committee on Statistical Interpretation of Dam Failures. With colleagues and students at Coimbra University in Portugal, he put the leading data from the ICOLD World Register and information on failed dams onto computer so that, for the first time ever, it was possible to compare numbers of existing and failed dams according to category.

The Chairman of ICOLD has asked me to complete the task that illness caused Professor Serafim to leave unfinished. I have tried to retain the fundamentals of his original ideas, with the active assistance of his former colleagues such as J. M. Coutinho Rodrigues.

These and all other persons who took part in the preparation of this Bulletin deserve praise for the finished work.

A. Goubet
Vice-Chairman,
ad hoc Committee on Statistical
Interpretation of Dam Failures

1. INTRODUCTION

Depuis le début du siècle, de nombreux ingénieurs ont établi des études statistiques de ruptures ou d'incidents de barrages en vue d'améliorer leurs connaissances et de rendre ces ouvrages, dont l'utilité est évidente, plus sûrs.

En particulier, la Commission Internationale des Grands Barrages a publié en 1974 une étude très complète intitulée « Leçons tirées des accidents de barrages », puis en 1983 une étude sur la « Détérioration de barrages et réservoirs ».

Ces différents travaux permettaient de répondre à des questions telles que :

- quels sont les principaux phénomènes ou mécanismes à l'origine des incidents?

- quels progrès a-t-on réalisés, globalement, depuis un siècle?

Par contre, d'autres questions demeuraient sans réponses : on constatait, par exemple, que la majorité des ruptures concernait les barrages en terre, mais on ne savait pas si cela était dû à une plus grande vulnérabilité de ce type d'ouvrage ou au fait que les barrages existants étaient pour la plupart réalisés en terre.

Le Professeur Serafim a donc proposé de franchir une étape ambitieuse dans les analyses de rupture en enregistrant sur support informatique la totalité du Registre Mondial des Barrages établi par la CIGB. On a pu ainsi, pour la première fois, comparer le nombre de barrages existants et le nombre de ruptures dans telle ou telle catégorie (définie en fonction de l'âge, de la dimension ou du type des ouvrages, etc.). Ce travail a été commencé par le Comité de la Sécurité des Barrages qui a lancé une enquête auprès des Comités Nationaux en 1986 en vue de procéder à un recensement de toutes les ruptures de barrages et de procéder à une analyse statistique de celles-ci.

En 1988, lorsque s'est achevé le mandat du Comité de la Sécurité des Barrages, l'enquête n'était pas terminée et on a mis en place un Comité ad hoc de l'Interprétation Statistique des Ruptures de Barrages pour mener à bonne fin le travail. Ce dernier avait pour mission de :

- réclamer les questionnaires manquant sur les ruptures de barrages et obtenir les clarifications et compléments nécessaires sur certains des questionnaires déjà reçus,

- entrer en mémoire les données du Registre Mondial des Barrages (édition de 1984 et mise à jour de 1988),

- entrer en mémoire les données sur les ruptures de barrages provenant des questionnaires,

- produire des statistiques sur les ruptures de barrages compte tenu du nombre et du type des barrages existants.

Le sens des mots « failure » et « rupture », sensiblement différent dans les langues anglaise et française, avait été défini dès 1986 et diffusé avec les questionnaires :

1. INTRODUCTION

Since the turn of the century, many engineers have been compiling statistics on dam failures and incidents to improve their knowledge and make these indisputably beneficial structures safer.

The International Commission on Large Dams has contributed by publishing, in 1974, a comprehensive study entitled Lessons from Dam Incidents, followed, in 1983, by Deterioration of Dams and Reservoirs.

These studies have provided answers to such questions as :

- what are the main processes or mechanisms causing incidents?

- what progress has been made, in general terms, over the last hundred years?

Other questions however have remained unanswered. For example, it was known that most dam failures involved earth dams, but it was not known if this was due to the greater vulnerability of this type or to the fact that most existing dams were earth structures.

Professor Serafim therefore suggested taking an ambitious step forward in dam failure analysis by computerising the whole World Register of Dams issued by ICOLD. This makes it possible for the first time to compare the number of existing dams and the number of failures in any category (with reference to dam age, size and type, etc.). The task was begun by the Committee on Dam Safety by sending questionnaires to National Committees in 1986 in order to obtain a catalogue of all dam failures and make a statistical analysis of them.

The enquiry was still in progress when the term of the Committee on Dam Safety ended in 1988, and an ad hoc Committee was formed on Statistical Interpretation of Dam Failures to complete the task. Its terms of reference were :

- Collect additional questionnaires on dam failures and make appropriate clarification, if needed, on questionnaires already received.

- Computerize the data from the ICOLD World Register of Dams (1984 edition and 1988 updating).
- Computerize the data from questionnaires for failed dams.

- Produce statistics on failures taking into account number and type of existing dams.

The words “ failure ” and “ rupture ”, which differ considerably in meaning in English and French, were defined in 1986 and circulated with the questionnaires, as follows :

« Rupture ou mouvement d'une partie d'un barrage ou de sa fondation, tel que l'ouvrage ne puisse plus retenir d'eau. En général, le résultat sera une lâchure d'un volume d'eau important entraînant des risques pour les personnes ou les biens à l'aval » (1).

Le Comité ad hoc a travaillé essentiellement à partir des questionnaires qui lui ont été retournés.

Les réponses ont fait apparaître plusieurs difficultés :

– Certaines ruptures n'ont pas été portées à la connaissance du Comité ad hoc, soit parce que les Comités Nationaux n'ont pas tous répondu, soit parce qu'ils n'ont considéré qu'une partie de leur territoire, soit par suite d'oublis divers.

Le Comité ad hoc a alors utilisé, soit des informations complémentaires figurant dans des travaux antérieurs de la CIGB (Congrès, « Leçons tirées des accidents de barrages », etc.), soit d'autres sources de renseignements. Les cas correspondants sont signalés dans le Tableau 1 des ruptures par un astérisque.

– Les réponses des Comités Nationaux n'étaient pas homogènes, certains Comités considérant comme ruptures des incidents que d'autres Comités refusaient de retenir en tant que tels. Ces divergences apparaissaient notamment en ce qui concerne les incidents en cours de construction. Pour présenter un ensemble cohérent, le Comité ad hoc a décidé de ne considérer comme rupture en cours de construction que les incidents au cours desquels de l'eau était relâchée involontairement en quantité importante à l'aval :

- submersion par des crues entraînant la destruction totale ou partielle du barrage lorsque celui-ci avait déjà atteint une hauteur d'au moins 15 m (dans ce cas, ce sont les caractéristiques de l'ouvrage au moment de la rupture qui doivent être retenues et non celles du barrage terminé);

- rupture d'un barrage dont le premier remplissage avait commencé avant la fin des travaux;

– En outre le Comité ad hoc n'a pas retenu certains types d'incidents qui n'avaient été considérés comme des ruptures que par un seul Comité National.

Le Comité ad hoc a toutefois retenu les ruptures de vannes, compte tenu de la définition adoptée (« mouvement d'une partie d'un barrage ») et parce que certains accidents survenus sur les vannes ont provoqué un nombre élevé de morts; mais tous les Comités Nationaux n'ont pas adopté cette position.

Malgré ces différents compléments ou corrections, le Comité ad hoc n'a pu aboutir à un résultat pleinement satisfaisant. En effet, on ne peut opérer de traitements statistiques valables que sur des ensembles homogènes. Or, si l'on compare, par exemple, les deux ensembles constitués, d'une part par la Chine, d'autre part par le reste du Monde, on constate que le nombre de barrages construits dans chacun d'eux est voisin alors que le nombre de ruptures dont le Comité ad hoc a eu connaissance est de 3 dans un cas contre environ 180 dans l'autre. Même si l'on tient compte du fait que presque tous les barrages chinois ont été mis en service

(1) Si certaines des ruptures répondant à cette définition ont été des catastrophes causant jusqu'à 2 000 morts, un très grand nombre n'ont provoqué aucune perte en vie humaine.

“ Collapse or movement of part of a dam or its foundation, so that the dam cannot retain water. In general, a failure results in the release of large quantities of water, imposing risks on the people or property downstream ” (1).

The ad hoc Committee worked chiefly from the completed questionnaires.

These questionnaires gave rise to several problems :

– Some failures were not reported to the ad hoc Committee because not all National Committees responded, or because they answered for only part of their country, or because of oversights.

In such cases, the Committee made use of additional information from earlier ICOLD reports (such as Congress Papers, the Bulletin Lessons from Dam Accidents, etc.) or other sources. An asterisk in Table 1 on dam failures denotes such cases.

– Replies from National Committees were not consistent with each other, some Committees reporting failures which other Committees ignored as incidents. Such confusion relates chiefly to incidents during dam construction. In order to present a consistent work, the ad hoc Committee decided that they would only consider incidents during construction as failures when large amounts of water were involuntarily released downstream, i.e. by

- overtopping of the dam by a river flood, causing its complete or partial destruction after it had risen to a height where the upstream head was at least 15 metres (in such cases, the dam dimensions were taken as those at the time of failure, not the design dimensions),

- failure when reservoir filling has commenced before completion of the dam.

– The ad hoc Committee rejected certain types of incident which were considered as failures by only one National Committee.

The ad hoc Committee did however include cases of gate failure, in view of the above definition (“ movement of part of a dam ”) and because some gate accidents have caused serious loss of life; but not all National Committees adopted this position.

Despite these corrections and additions, the ad hoc Committee was unable to reach a fully satisfactory data base conclusion, since sound statistical analysis requires consistent data. Comparing, for example, the data from China and that from the rest of the world, one finds that the number of dams built in each area is roughly the same whereas the number of failures reported to the Committee was 3 in one case and 180 in the other. Even allowing for the fact that nearly all the Chinese dams were commissioned post-1955 when engineering practice had been codified, and considering only those dams in the rest of the world of similar age,

(1) While some dam failures meeting this definition have been catastrophic, causing up to 2 000 deaths, there have also been very many which have led to no loss of life.

après 1955, c'est-à-dire à une époque où les règles de l'art modernes étaient connues, et si l'on ne considère que les barrages construits après cette date dans le reste du Monde, les nombres respectifs de ruptures sont de 3 et près de 50. Aucune explication de caractère technique ne peut expliquer un tel contraste.

Une analyse statistique valable ne peut donc porter que sur le Monde, à l'exclusion de la Chine.

Mais il convient de noter que, pour d'autres pays, l'on pourrait faire des observations analogues quoique beaucoup moins nettes; les données de ces pays ont été conservées dans les analyses statistiques dont les conclusions ne sont pas sensiblement influencées de ce fait; par contre, si l'on voulait utiliser la liste des ruptures figurant dans ce rapport pour comparer la situation existant dans les divers pays, on risquerait d'aboutir à des conclusions totalement erronées.

Comme on peut le voir à l'Annexe I, le Comité ad hoc a également établi une liste des « causes de rupture des barrages » déduite de celle retenue antérieurement par le Comité de la Détérioration des Barrages et Réservoirs. Aux Annexes II, III et IV, on donne les listes des « Types de rupture », « Moments des ruptures » et « Mesures prises après la rupture », qui sont également celles adoptées par le Comité de la Détérioration. Pour la détermination du « Type de barrage », le Comité ad hoc a aussi suivi le Comité de la Détérioration, c'est-à-dire qu'il a utilisé la codification du Registre Mondial des Barrages de la CIGB, mais en ajoutant la lettre (M) pour les barrages en maçonnerie (voir Annexe V). Comme le Comité de la Détérioration, également, il n'a mentionné, pour les barrages mixtes ne comportant qu'une partie en remblai, que le matériau de la partie qui s'était rompue (en général, la partie en terre). Enfin, l'Annexe VI reproduit le questionnaire adressé aux différents Comités Nationaux.

Les informations utilisées (tirées des questionnaires ou d'autres origines) à propos des ruptures de barrages ont été stockées sur support informatique.

Tous les cas de ruptures avec leurs informations essentielles sont regroupés au Tableau 1. Les hauteurs de barrages indiquées correspondent aux hauteurs maximales au-dessus des fondations, sauf dans les cas marqués par le signe † où c'est la hauteur au-dessus du lit de la rivière qui est mentionnée.

Les résultats des analyses statistiques sont présentés sous forme graphique pour rendre plus perceptibles et plus « conviviales » les conclusions relatives aux ruptures de barrages.

Il importe de remarquer qu'un grand nombre des accidents analysés sont arrivés il y a plus de 50 ans (presque la moitié avant 1940) et ont intéressé de vieux barrages. On ne dispose donc souvent que d'informations limitées – voire nulles – sur l'accident ou sur le barrage et ses ouvrages annexes. S'ils avaient été conçus et réalisés selon les pratiques actuelles, ces ouvrages auraient été certainement beaucoup plus sûrs et l'accident n'aurait pas pu se produire.

the reported failures are still three against nearly 50. There is no engineering explanation for such a discrepancy.

A reliable statistical analysis must therefore be based on the world excluding data from China.

Similar although less obvious remarks can be made on data from other countries. The data have been included in the statistical analyses and do not seriously alter the findings. But any attempt to use the failure list from this report to compare conditions in different countries would run the risk of coming to completely false conclusions.

As can be seen from Appendix I, the Committee has also drawn up a list of Causes of Dam Failures deriving from the list prepared earlier by the Committee on Deterioration of Dams and Reservoirs. Appendices II, III and IV are lists of Types of Failure, Occasions of Failure and Remedial Measures, also taken from those prepared by the Committee on Deterioration. In determining dam type, the ad hoc Committee adopted the same rule as the Committee on Deterioration, i.e. the ICOLD World Register coding plus the letter (M) for masonry dams (see Appendix V). It has also followed the Committee on Deterioration in stating, for composite dams including an embankment section, only the material in the part which failed (usually the earth section). The questionnaire sent to National Committees appears in Appendix VI.

The data used (from the questionnaires or other sources) on dam failures were entered into the computer.

All reported dam failures are listed in Table 1, with the most important characteristics. Dam height is maximum height above the foundation line, except where marked with a † sign when dam height is measured above river bed.

The results of the statistical analyses are presented in graphic form to make the conclusions on dam failures more immediately comprehensible and “user-friendly”.

Please note that many of the incidents occurred more than 50 years ago (almost half occurred before 1940) and involved old dams. Often, there is no information or only limited information regarding either the incident or the dam and ancillary structures. If designed and built using current practices and criteria, the dams undoubtedly would be safer and capable of withstanding the forces which caused the incident.

2. CONCLUSIONS RÉSUMÉES

De l'étude des informations obtenues nous pouvons conclure que :

1. Le pourcentage de ruptures a décliné au cours des quatre dernières décennies. 2,2 % des barrages construits avant 1950 se sont rompus. Le taux de rupture relatif aux barrages construits depuis 1951 est inférieur à 0,5 %.

2. En valeur absolue, la majorité des ruptures concerne de petits ouvrages, mais ceux-ci constituent aussi la majorité des barrages construits.

Le rapport $\frac{\text{nombre de barrages rompus de hauteur } H}{\text{nombre de barrages construits de hauteur } \bar{H}}$ varie très peu avec la hauteur.

3. La plupart des ruptures intéressent des barrages jeunes. Celles-ci surviennent le plus fréquemment au cours des 10 premières années (70 %) et plus spécialement pendant la première année.

4. Ce sont les barrages construits au cours de la décennie 1910-1920 qui ont subi le taux de rupture le plus élevé.

5. Pour les barrages en béton, les problèmes de fondation constituent la cause de rupture la plus fréquente : érosion interne (21 %) et résistance au cisaillement insuffisante (21 %) de cette fondation.

6. Dans les barrages en remblai, la submersion constitue la principale cause de rupture (31 % comme cause principale, 18 % comme cause secondaire), suivie par l'érosion interne du corps du barrage (15 % comme cause principale et 13 % comme cause secondaire) et l'érosion interne des fondations (12 % comme cause principale et 5 % comme cause secondaire).

7. Pour les barrages en maçonnerie, la cause de rupture la plus fréquente est la submersion (43 %) suivie par l'érosion interne des fondations (29 %).

8. Quand la rupture est imputable aux ouvrages annexes, c'est l'insuffisance de capacité des évacuateurs qui intervient le plus fréquemment (22 % comme cause principale, 39 % comme cause secondaire).

9. Les dispositions retenues à la suite d'une rupture sont le plus souvent : abandon de l'ouvrage (36 %), construction d'un ouvrage de type différent (17 %), reconstruction totale à l'identique (16 %).

2. SUMMARY OF CONCLUSIONS

The findings from the analysis of the data obtained are as follows :

1. The percentage of failures of large dams has been falling over the last four decades; 2.20 per cent of dams built before 1950 failed, failures of dams built since 1951 are less than 0.5 per cent.

2. In absolute terms, most failures involve small dams, which do however make up the greatest proportion of dams in service.

The ratio between $\frac{\text{failed dams of height H}}{\text{dams built of height H}}$ varies very little with height.

3. Most failures involve newly-built dams. The greatest proportion (70 per cent) of failures occur chiefly in the first ten years, and more especially in the first year after commissioning.

4. The highest failure rate is found in dams built in the ten years 1910-1920.

5. Foundation problems are the most common cause of failure in concrete dams, with internal erosion and insufficient shear strength of the foundation, each accounting for 21 per cent.

6. With earth and rockfill dams, the most common cause of failure is overtopping (31 per cent as primary cause and 18 per cent as secondary cause), followed by internal erosion in the body of the dam (15 per cent as primary cause and 13 per cent as secondary cause) and in the foundation (12 per cent as primary cause and 5 per cent as secondary cause).

7. With masonry dams, the most common cause is overtopping (43 per cent) followed by internal erosion in the foundation (29 per cent).

8. Where the appurtenant works were the seat of the failure, the most common cause was inadequate spillway capacity (22 per cent as primary cause and 39 per cent as secondary cause).

9. The post-failure action most frequently reported was scheme abandoned (36 per cent), construction of a newly-designed dam (17 per cent) and overall reconstruction with the same design (16 per cent).

3. ANALYSE DES INFORMATIONS RECUEILLIES

On présente ci-après, sous forme graphique, les résultats déduits des informations rassemblées, de façon à illustrer les conclusions d'une façon plus « vivante ».

3.1. TAILLE DES BARRAGES ROMPUS ET VOLUME DE LEUR RÉSERVOIR

La plupart des ruptures concernent des barrages de faible hauteur (Fig. 1). Presque 70 % ont moins de 30 m de hauteur, en ne tenant compte que des barrages dont la hauteur est connue. (Les barrages de moins de 15 m ne sont pris en compte que si leur réservoir a un volume supérieur à 1 hm³.)

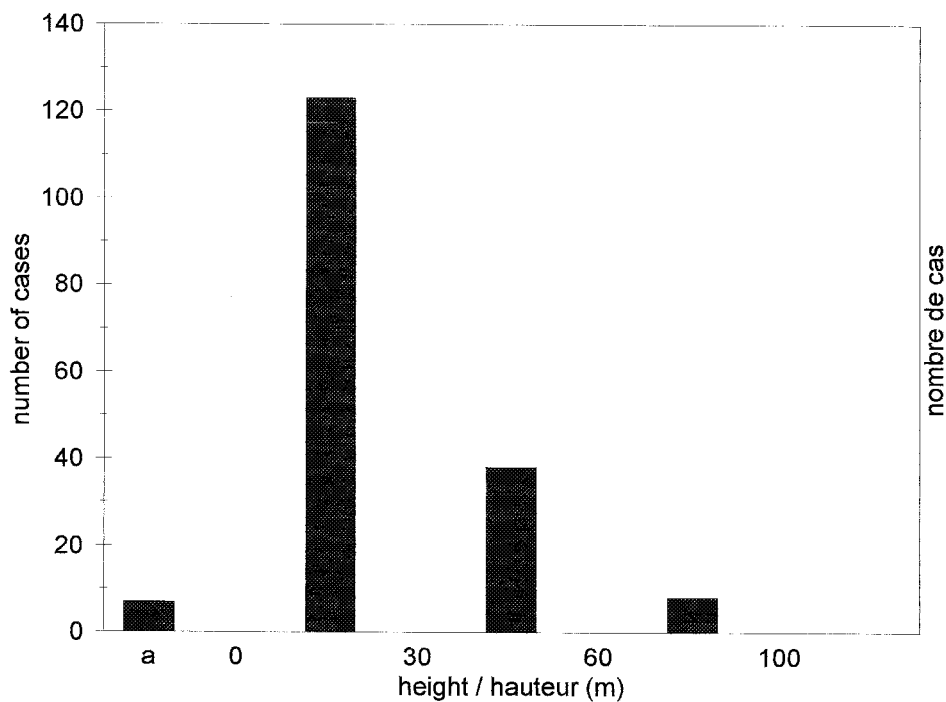


Fig. 1

Failures by height of dams
Ruptures selon la hauteur du barrage

(a) Height not reported

(a) *Hauteur inconnue*

3. GENERAL ANALYSIS OF DATA COLLECTED

The accompanying Figures display the results from the data collected in a more comprehensive form.

3.1. FAILED DAM SIZE AND RESERVOIR CAPACITY

Most failures involve dams of moderate height (Fig. 1). Nearly 70 per cent are less than 30 m high, and this Fig. refers only to cases where dam height was reported. (Dams less than 15 m high are only considered where they store more than 1 million m³ of water.)

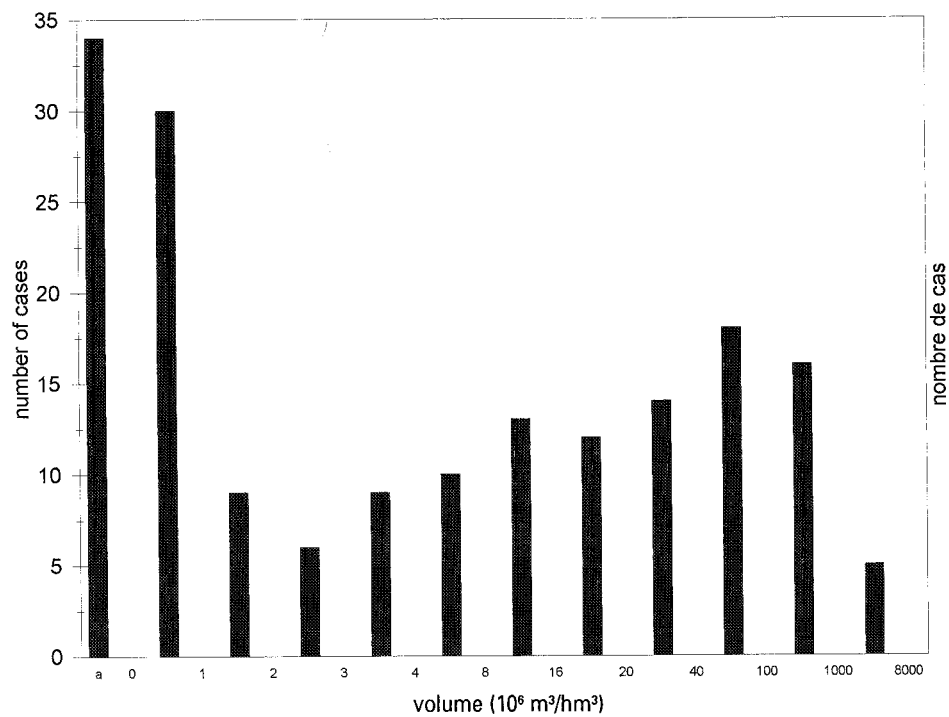


Fig. 2

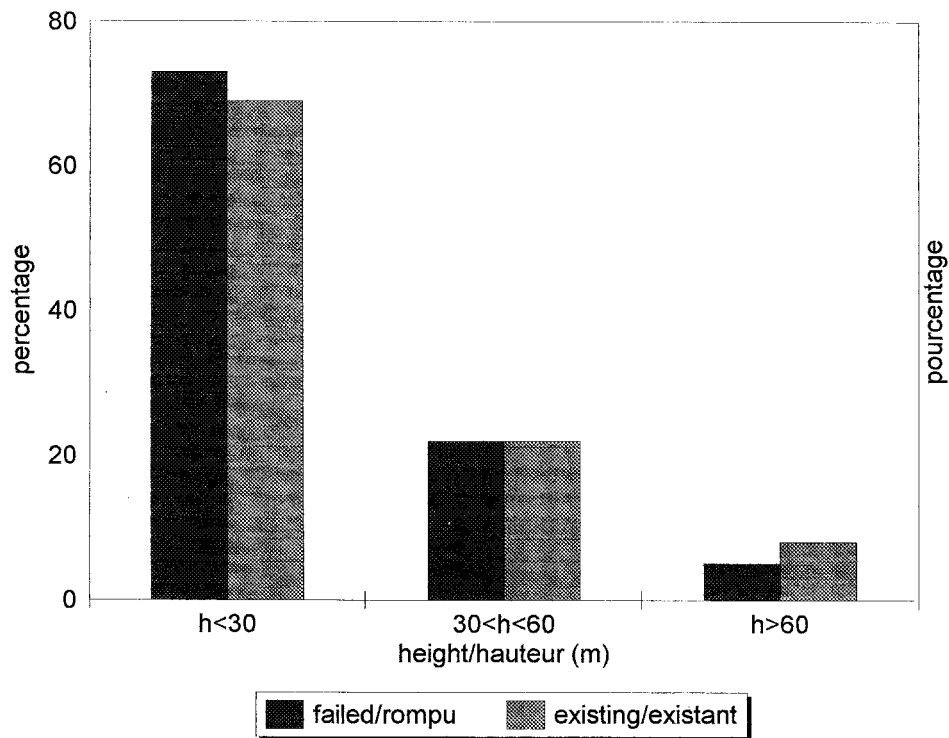
Failures by reservoir capacity
Ruptures selon le volume du réservoir

(a) Capacity not reported

(a) *Volume inconnu*

3.2. RUPTURES SELON LA HAUTEUR

Le pourcentage de ruptures est à peu près indépendant de la hauteur des barrages. Ceci apparaît sur la Fig. 3.



3.3. RUPTURES SELON LE TYPE DE BARRAGE

La majorité des ruptures intéresse les barrages en remblai (Fig. 4), mais on peut constater, sur la Fig. 5, que le rapport

$$\frac{\text{nombre de barrages rompus de type T}}{\text{total des barrages rompus}}$$

est à peu près le même que le rapport

$$\frac{\text{nombre de barrages existants de type T}}{\text{total des barrages existants}}$$

pour chaque type de barrages; le premier rapport est toutefois plus important pour les barrages en remblai et, dans une moindre mesure, pour les barrages à contre-forts.

3.2. FAILURES VS DAM HEIGHT

The data indicate that the incidence of dam failures does not vary significantly with the height of the dams. This is shown on Fig. 3.

Fig. 3

$$\begin{array}{c} \text{Comparison of ratios} \\ \frac{\text{failed dams of height } H}{\text{total failed dams}} \text{ and } \frac{\text{existing dams of height } H}{\text{total existing dams}} \\ \text{Comparaison des rapports} \\ \frac{\text{barrages rompus de hauteur } H}{\text{total des barrages rompus}} \text{ et } \frac{\text{barrages existants de hauteur } H}{\text{total des barrages existants}} \end{array}$$

3.3. FAILURES VS DAM TYPE

Most failures involve embankment dams (Fig. 4), but Fig. 5 reveals that the ratio

$$\frac{\text{Failed dams of type T}}{\text{Total number of failed dams}}$$

is roughly the same as the ratio

$$\frac{\text{Dams of type T}}{\text{Total number of dams}}$$

for each type of dam. The first ratio is however highest for earth and rockfill dams, and, to a lesser extent, for buttress dams.

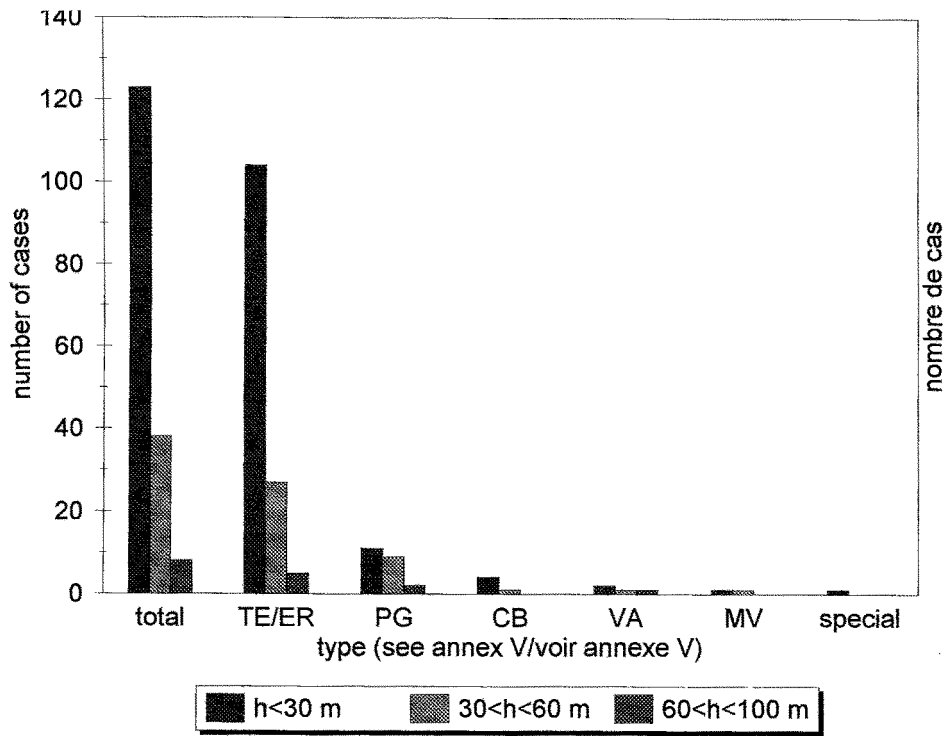


Fig. 4

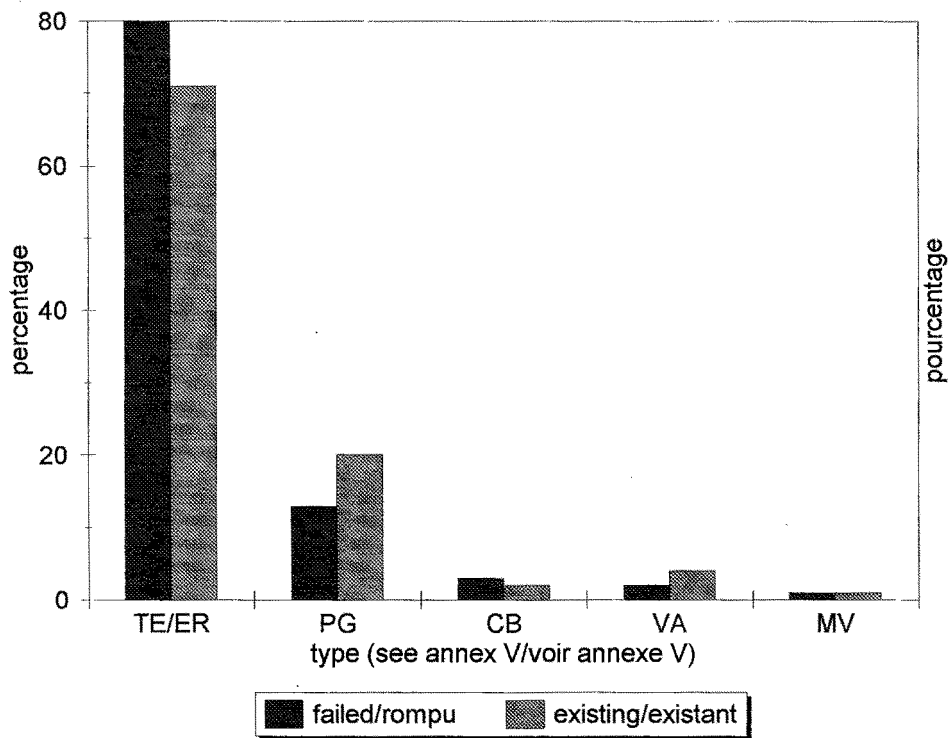


Fig. 5

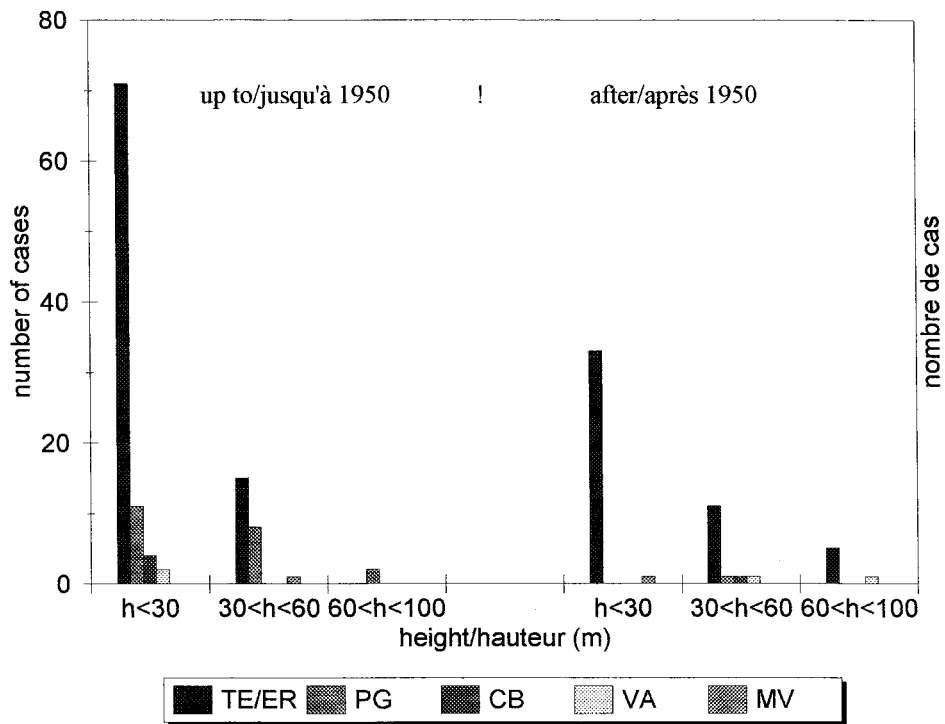


Fig. 6

Fig. 4

Number of failures by type and height of dams
Nombre de ruptures selon le type et la hauteur du barrage

Fig. 5

Comparison of ratios
 $\frac{\text{failed dams of type T}}{\text{total failed dams}}$ and $\frac{\text{existing dams of type T}}{\text{total number of dams}}$
Comparaison des rapports
 $\frac{\text{barrages rompus de type T}}{\text{total des barrages rompus}}$ et $\frac{\text{barrages existants de type T}}{\text{total des barrages existants}}$

Fig. 6

Number of failures by type, height and year of construction
Nombre de ruptures selon le type, la hauteur et l'époque de la construction

Globalement, le rapport $\frac{\text{nombre de barrages rompus}}{\text{nombre de barrages existants}}$

des barrages en remblai est supérieur de 70 % à celui des barrages-poids.

Sur la Fig. 6, les nombres de ruptures par hauteur et type sont mentionnés de façon distincte selon l'époque de la construction. On peut constater une tendance générale à la diminution du nombre de ruptures bien que le nombre de barrages construits depuis 1951 (12 138) soit très supérieur au nombre des barrages antérieurs (5 268).

3.4. AGE DES BARRAGES ROMPUS

Un très grand nombre de ruptures intéressent de très jeunes barrages; la Fig. 7 fait apparaître l'importance de la première décennie; la Fig. 8 analyse de façon plus détaillée ces dix premières années et met en évidence le rôle de la première année.

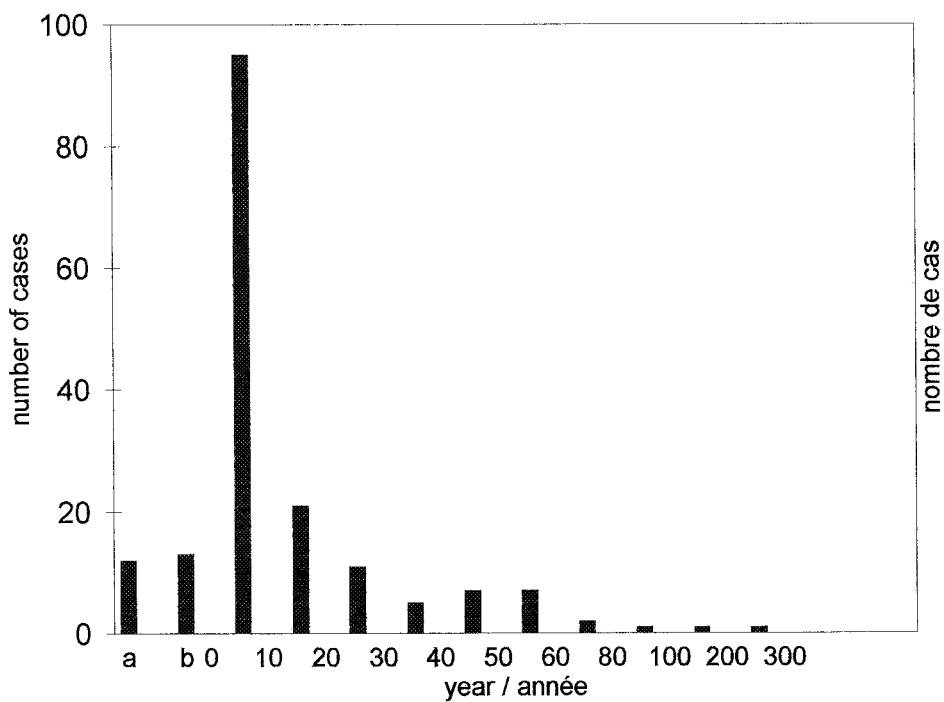


Fig. 7

Failures by age of failed dams
Ruptures selon l'âge du barrage

(a) Age not reported
(b) During construction

(a) Age inconnu
(b) Pendant la construction

In overall terms, the ratio $\frac{\text{Failed dams}}{\text{Total number of dams}}$

for earth and rockfill dams is 70 per cent higher than for gravity dams.

On Fig. 6, the numbers of dam failures versus height and type are shown separately against date of construction. There is a clear downward trend in the number of failures even though the number of dams built since 1951 (12 138) is much greater than the number of dams built before this date (5 268).

3.4. AGES OF FAILED DAMS

A greater number of failures occurred in very young dams; Fig. 7 shows a great predominance for ages below 10 years; Fig. 8 shows with more detail the failures corresponding to this first interval of ages (0-10 years) and there we can see that the greatest predominance corresponds to the ages below 1 year.

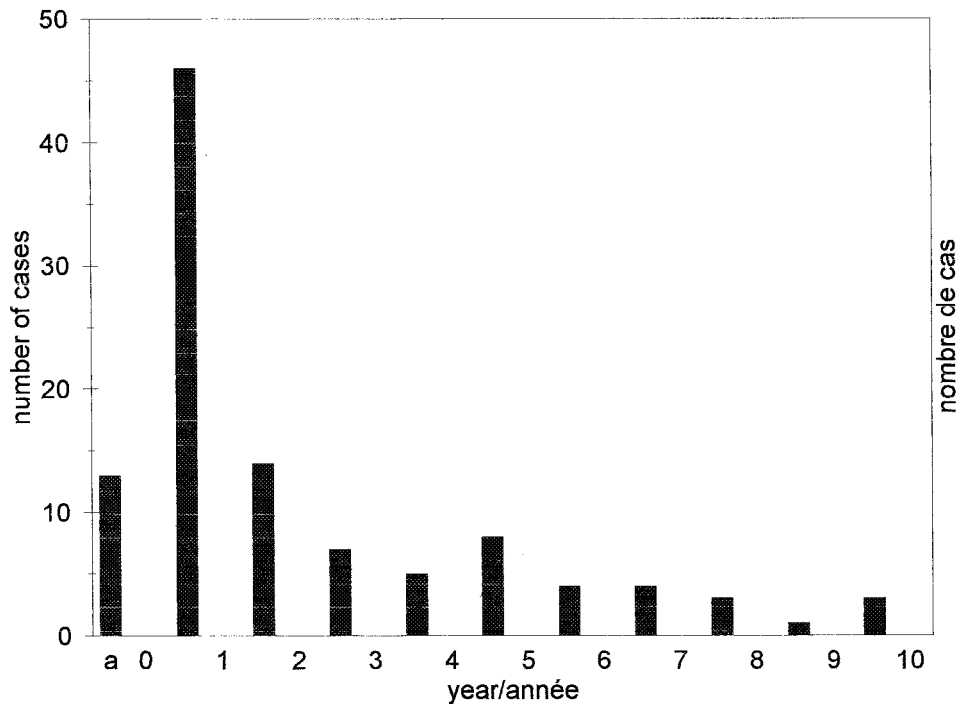


Fig. 8

Failures by age of failed dams (less than 10 years old)
Ruptures selon l'âge du barrage (inférieur à 10 ans)

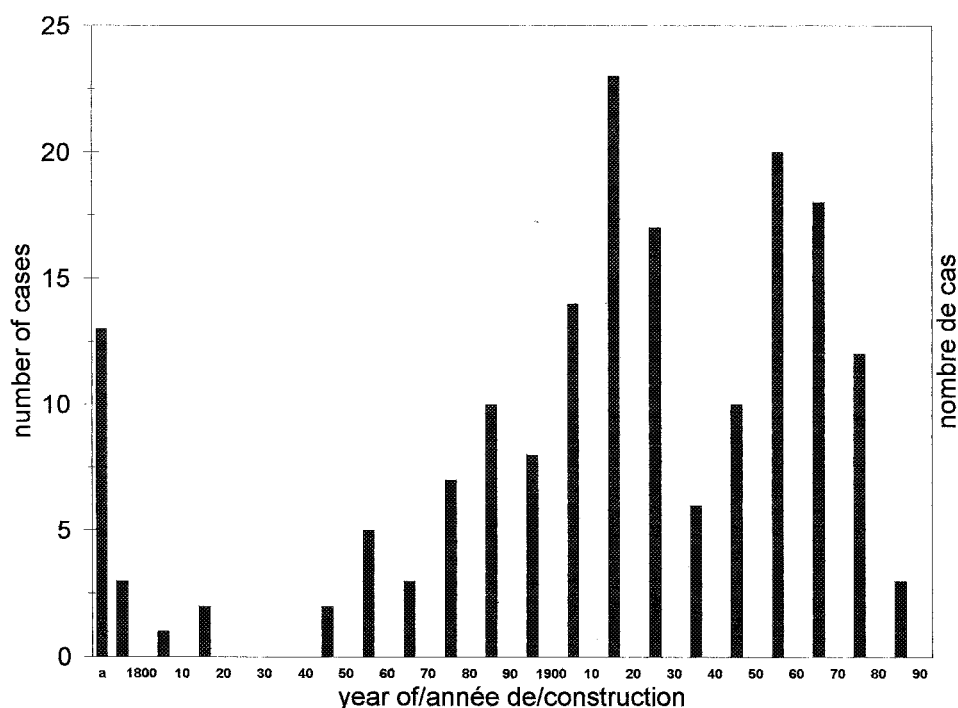
(a) During construction

(a) Pendant la construction

3.5. RUPTURES SELON LA DATE DE CONSTRUCTION

Le plus grand nombre de ruptures correspondent aux barrages construits pendant les décennies 1910-20 et 1960-70. Mais ce sont les ouvrages de la période 1910-1920 qui ont connu le plus fort taux de rupture (Fig. 9). Selon le Registre Mondial des Barrages, 5 268 barrages ont été construits jusqu'en 1950 (dont 117 se rompirent) et 12 138 entre 1951 et 1986 (pour 59 ruptures) (Chine non comprise).

Si nous considérons séparément ces deux périodes, nous constatons que le taux de rupture a été de 2,2 % (117/5 268) pour les barrages construits avant 1950 et de 0,5 % (59/12 138) pour les barrages construits pendant la période 1951-86. On constate aussi que 80 % des 117 ruptures des barrages construits avant 1950 se sont produites pendant les 36 premières années de leur vie et 50 % pendant leurs 4 premières années.



3.5. FAILURES BY YEAR OF CONSTRUCTION

A greater number of failures corresponds to the decades of construction 1910-1920 and 1960-1970, but 1910-1920 is the decade when more dams were built that subsequently failed (Fig. 9). According to the World Register of Dams, a total of 5 268 dams were built until 1950 (117 of them failed), 12 138 dams were built during the years 1951-1986 (59 of them failed) (without China).

If we separate the reported failure cases by those two periods of time according to the date of their construction, we can see that 2.2 % (117 out of 5 268) of the dams built before 1950 failed, and the percentage of failures of dams built in the period 1951-1986 amounts to 0.5 % (59 out of 12 138). Analysing the data of the 117 failed dams built before 1950 using Table 1, we can see that 80 % of those failures refer to dams with ages no greater than 36 years, and 50 % refer to dams with age no greater than 4 years!

Fig. 9

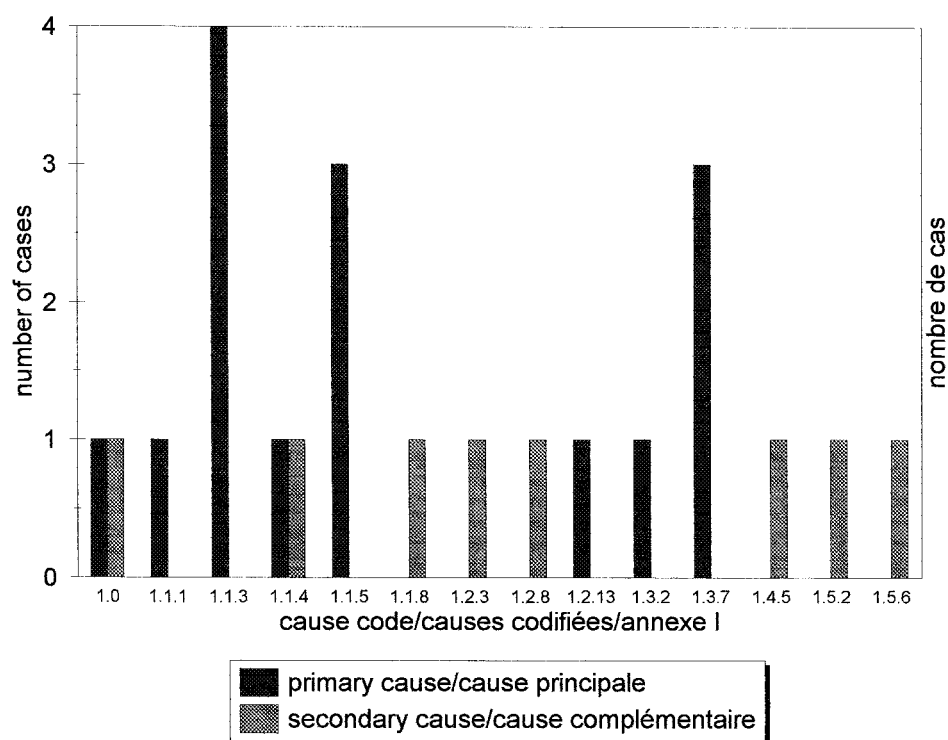
Failures by year of construction
Ruptures selon la date de la construction

(a) Year not reported

(a) *Date inconnue*

3.6. BARRAGES EN BÉTON

Pour les barrages en béton, ainsi que le montre la Fig. 10, les problèmes relatifs aux fondations (érosion interne – 1.1.5.1. – ou contraintes de cisaillement – 1.1.3.) constituent la cause principale de rupture la plus fréquente; mais on doit noter que, dans les quatre cas de rupture intéressant des barrages voûtes, le comportement de la voûte proprement dite n'est pas en cause; à Malpasset, Vaughn Creek et Idbar, l'accident est imputable aux fondations (cisaillement, érosion interne ou infiltration), tandis qu'à Moyie River il résulte de la submersion d'un appui; on peut remarquer que la voûte de Moyie River ne s'est pas rompue.



3.6. CONCRETE DAMS

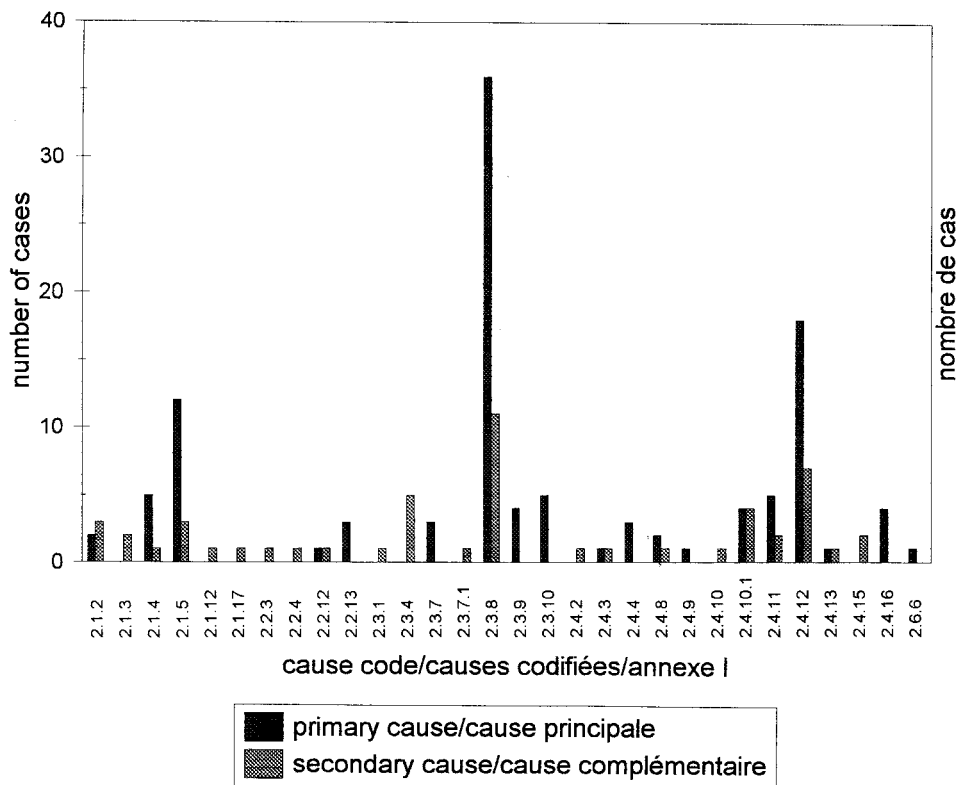
In concrete dams, as shown in Fig. 10, problems in the foundations (internal erosion – 1.1.5.1. – and shear strength – 1.1.3. –) were the most frequent primary cause of failures; but it must be emphasized that all four cases of failure in concrete arch dams were not due to the structural behaviour of the arch, but, as the cases of Malpasset, Vaughn Creek and Idbar, due to the behaviour of foundations (shear strength, internal erosion and seepage) or, as the case of Moyie River, due to overtopping of abutment; note that in the case of Moyie River the arch has not failed.

Fig. 10

Causes of failure in concrete dams
Causes des ruptures des barrages en béton

3.7. BARRAGES EN REMBLAI

Ainsi que le montre la Fig. 11, les ruptures de barrages en remblai sont surtout causées par les submersions – 2.3.8.; viennent ensuite l'érosion interne dans le corps du barrage – 2.4.12. – et l'érosion en fondation – 2.1.5.



3.8. BARRAGES EN MAÇONNERIE

Pour les barrages en maçonnerie (Fig. 12), la cause la plus fréquente de rupture est la submersion – 3.4.6. –, suivie par l'érosion interne des fondations – 3.1.5.

3.7. EMBANKMENT DAMS

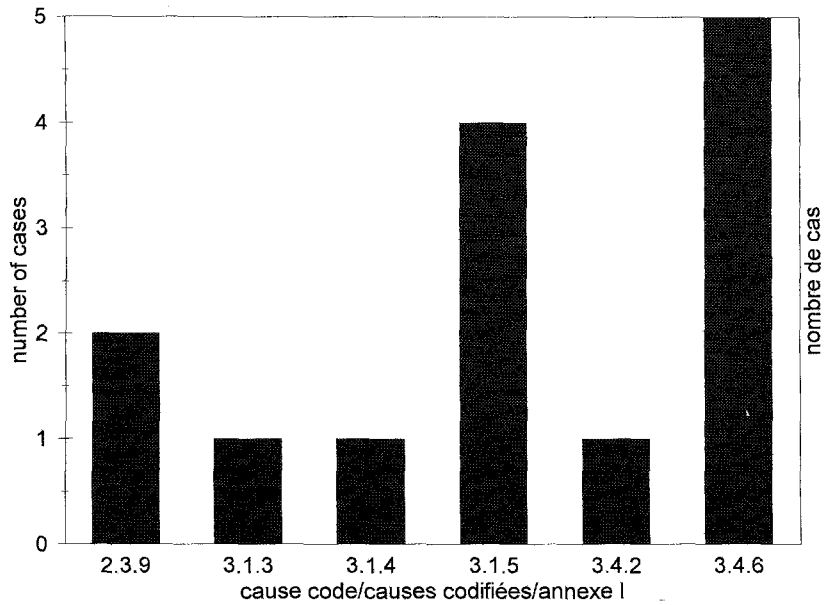
As shown in Fig. 11, in embankment dams (TE/ER) overtopping – 2.3.8. – was the most frequent cause of failures, followed by internal erosion in the body – 2.4.12. – and internal erosion in foundations – 2.1.5.

Fig. 11

Causes of failure in embankment dams
Causes des ruptures des barrages en remblai

3.8. MASONRY DAMS

In masonry dams (Fig. 12) the most frequent cause of failures was overtopping – 3.4.6. – followed by the internal erosion in the foundations – 3.1.5.



3.9. OUVRAGES ANNEXES

Quand la rupture est imputable au mauvais comportement des ouvrages annexes (Fig. 13), l'insuffisance de la capacité des évacuateurs de crue intervient le plus souvent - 4.6.2. -, aussi bien comme cause principale que comme cause secondaire.

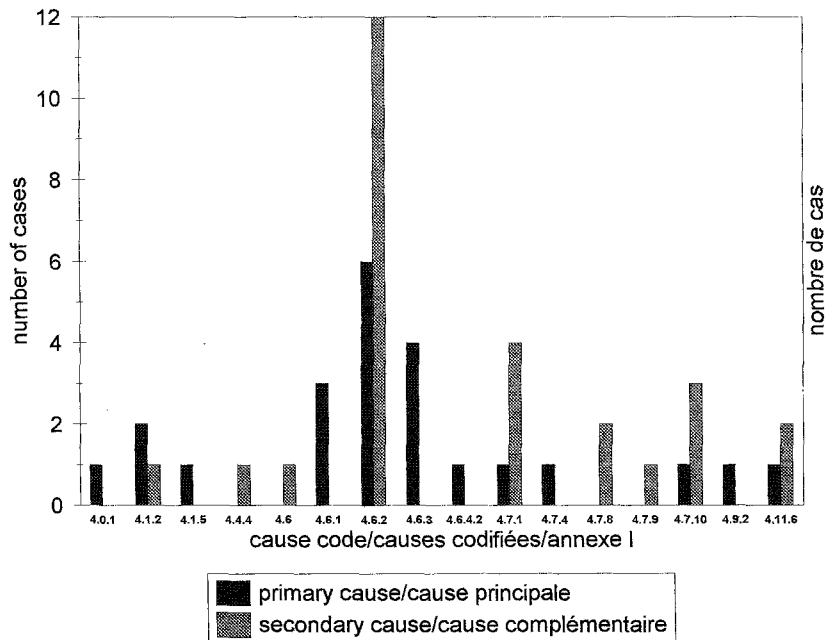


Fig. 12

Causes of failure in masonry dams
Causes des ruptures des barrages en maçonnerie

3.9. APPURTENANT WORKS

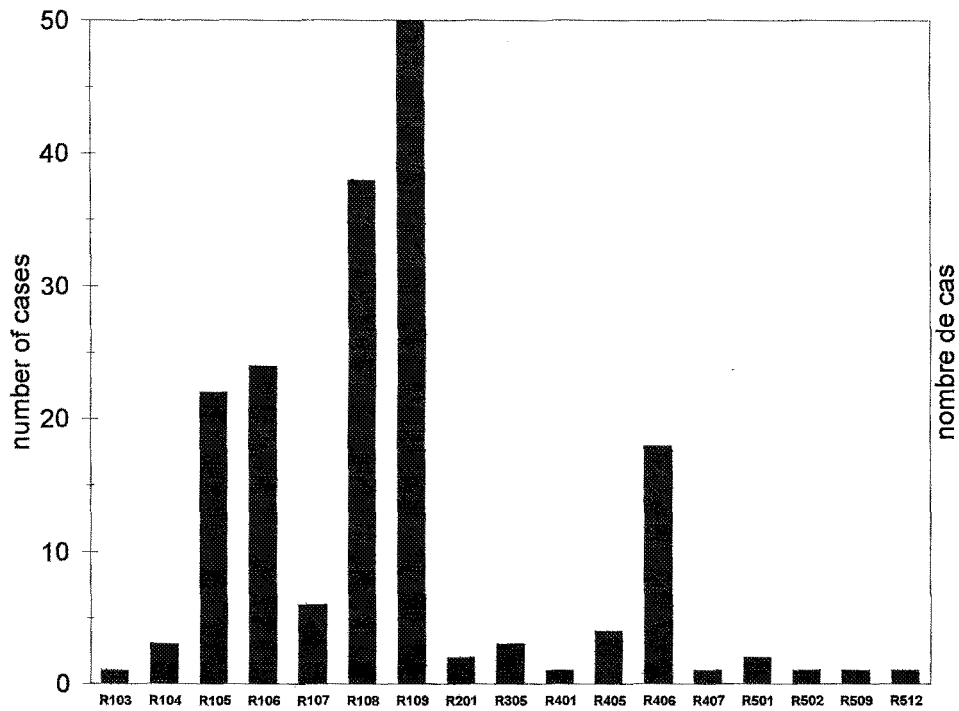
When the cause of failure related to appurtenant works (Fig. 13), the insufficient capacity of spillways was the most frequent cause – 4.6.2. –, both primary and secondary.

Fig. 13

Causes of failure in appurtenant works
Causes des ruptures des ouvrages annexes

3.10. MESURES PRISES APRÈS RUPTURE

Comme on peut le voir sur la Fig. 14, les décisions consécutives à une rupture sont le plus souvent « ouvrage abandonné » (R 109 - 50 cas sur 140), suivie de « reconstruction d'un ouvrage de type différent » (R 106 - 24 cas sur 140), « reconstruction totale à l'identique » (R 105 - 22 cas sur 140) et « réparation des zones détériorées » (R 406 - 18 cas sur 140).



3.10. REMEDIAL MEASURES

As can be seen in Fig. 14, the most frequent type of remedial measures is R 109 – *Scheme abandoned* – (50 out of 140 cases), followed by R 106 – *Reconstruction with a new design* – (24 out of 140 cases), R 105 – *Overall Reconstruction with same design* – (22 of 140 cases), and R 406 – *Reconstruction of deteriorated zones* – (18 out of 140 cases).

Fig. 14

Remedial measures (see Appendix IV)
Mesures prises après rupture (voir Annexe IV)

4. ACCIDENTS EN COURS DE CONSTRUCTION

Les différents Comités Nationaux ont adopté des positions très diverses en ce qui concerne des renseignements sur les incidents survenus pendant la construction. On ne peut donc procéder pour ceux-ci à une analyse statistique (sauf en ce qui concerne les ruptures par submersion).

Ces accidents peuvent entraîner de longs retards et des augmentations de coût. Ils peuvent parfois avoir des répercussions sur la sécurité publique. On mentionne ci-dessous trois glissements pendant la construction, qui ont fait l'objet de réponses à l'enquête :

COCOROBO (Brésil), terre - hauteur de 33,5 m sur le lit de la rivière - longueur en crête 634 m - capacité de la retenue 243 hm³ - glissement de 300 000 m³ sur le parement amont juste à la fin des travaux - 1967.

A. R. GONCALVES ou ACU (Brésil), terre et enrochement - hauteur de 40 m sur le lit de la rivière - longueur en crête 3 400 m - capacité de la retenue 2 440 hm³ - glissement du talus amont en fin de construction, avant le remplissage - 21/12/1981 (1).

MARMARIK (Arménie), terre et divers - hauteur de 64 m sur le lit de la rivière - longueur en crête 500 m - capacité de la retenue 35 hm³ - glissement à la fin de la réalisation du remblai, mais avant le premier remplissage - tassement de 10 à 12 m et de 300 m de longueur en crête, glissement vers l'aval intéressant la rive droite (fondation comprise) et le reste du barrage (sans la fondation) - cause : réactivation d'un ancien glissement de l'appui rive gauche et argile sursaturée dans le corps du barrage - 27/11/1974.

Mais il existe de nombreux autres glissements de talus de barrages survenus durant la construction, qui n'ont pas été signalés au cours de la présente enquête (ils ne répondaient pas à la définition retenue). On peut citer, par exemple, CAR-SINGTON (Grande-Bretagne) juin 1984 (2), MIRGENBACH (France) 1982, TRONERAS (Colombie) 1963.

(1) Voir aussi Congrès de Rio de Janeiro de la CIGB - Volume V - page 551.

(2) Voir aussi Congrès de Vienne de la CIGB - Volume III - page 1539.

4. FAILURES DURING CONSTRUCTION

The different National Committees have adopted quite different positions regarding information supplied to the Committee about failures during construction. So a statistical analysis is not possible (except for overtopping failures).

These failures can cause long delays and increases in cost. In some cases they have consequences for public safety. We mention hereunder the three “during construction” slides which were included in the replies to the inquiry :

COCOROBO (Brazil), earthfill - 33.5 m above river bed - 634 m crest length - $243 \times 10^6 \text{ m}^3$ - sliding of $300\,000 \text{ m}^3$ in the upstream direction immediately after the completion of the earthfill - 1967.

A. R. GONCALVES or ACU (Brazil), earth and rockfill - 40 m above river bed - 3 400 m crest length - $2\,440 \times 10^6 \text{ m}^3$ storage - slide of upstream slope at the end of construction before filling - 21/12/1981 (1).

MARMARIK (Armenia), earthfill and composite - 64 m above river bed - 500 m crest length - $35 \times 10^6 \text{ m}^3$ storage - slips at the end of construction but before filling - 10 to 12 m settlement, 300 m long along the crest, downstream slope failure including the right bank abutment with the foundation and the rest of the dam without foundation. Activation of ancient landslide in the left bank abutment and oversaturation of clay in the dam body - 27/11/1974.

There have been many other dam slope slides during construction which were not mentioned in the replies because they did not correspond to the definition in the inquiry. As examples we can note : CARSINGTON (Great Britain) June 1984 (2), MIRGENBACH (France) 1982, TRONERAS (Colombia) 1963.

(1) See also ICOLD Congress Rio de Janeiro - Volume V - page 551.

(2) See also ICOLD Congress Vienna - Volume III - page 1539.

Table 1 - List of Failed Dams
Tableau 1 - Liste des Ruptures de Barrages

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Failure Rupture			Remedial measures Mesures prises	
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.	Time Époque	Type	Primary cause Cause principale		Secondary cause Cause complémentaire
Algeria	Cheurfas	PG (M)			17	42.0		1884	1885	T 2				
Algeria	Fergoug I	PG (M)			30	43.0	316.0	1871	1881	T 4				
Algeria	Fergoug II	PG (M)			30	43.0		1885	1927	T 4				2.3.9
Algeria	Sig	PG			3.3	21.0		1858	1885	T 4				
Algeria	St-Lucien	TE			2	27.0		1861	1862	T 3				
Algeria	Tabia	TE				25.0		1876	1876					
Argentina	Presa Frias	ER	R	11	0.14	17.7	60.0	1938	1970	T 4	Fb	2.3.8		R 109
Australia	Briscis	ER	R	28	1	17.0	137.0	1926	1929	T 3	Fb	2.3.8	4.6.2.	R 106
Australia	Lake Cawndilla	TE	R	4.2	730	12.5	65.8	1961	1962	T 2	Fb	2.2.13	4.1.2., 4.7.10	R 106
Bolivia	El Salto	TE			0.45	15.0	30.0		1976			2.1.5		
Brazil	Armando de Salles Oliveira	TE	S	600	27	41.0	660.0	1958	1977	T 4	Fb	2.3.9	2.3.8	R 406
Brazil	Boa Esperança	TE	S/R	114	37	17.0	450.0	1976	1977	T 3		4.1.2		R 105
Brazil	Ema	TE		65	10	18.5	370.0	1932	1940	T 2	Fm	2.4.12	2.4.15	R 106
Brazil	Euclides da Cunha	TE	R	2 200	13	60.0	312.0	1960	1977	T 4	Fb	4.9.2	2.3.8	R 401
Brazil	Oros	TE/ER	S/R		730	35.0	620.0	1961	1960	T 1	Fb	2.3.10	2.3.8	R 105
Brazil	Pampulha	TE	S	250	18	18.0	350.0	1941	1954	T 4	Fm	2.4.12		R 106
Brazil	Santa Helena	ER	R		250	25.0	250.0	1979	1985	T 4		4.1.2		R 109
Canada	Battle River	TE	S/R	94	15	14.0	548.0	1956	1956	T 2	Fm	2.4.12	4.7.10	R 509
Canada	Hinds Lake	TE/ER		876	7 500	12.0	5 180.0	1980	1982	T 3	Fm	2.4.12		R 105

* Questionnaire not received / Questionnaire non reçu.

† Height above river bed / Hauteur au-dessus du lit de la rivière.

R : Rock / Roche.

S : Soil / Sol.

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Time Époque	Failure Rupture			Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fall. Rup.		Type	Primary cause Cause principale	Secondary cause Cause complémentaire	
Canada	Log Falls				30	15.0	610.0	1923	1923	T 3	Fa	2.3.8		R 406
Canada	Scott Falls					42.5	220.0	1921	1923	T 3	Ff	2.1.5		R 107
Chile	Embalse Aromos	TE	S/R	940	60	† 12.5	1 520.0	1979	1984	T 4	Fb	2.3.7	2.4.10.1	R 406
Chile	Embalse Lo Ovalle	TE		1 230	13	† 20.0	550.0	1932	1985	T 4	Fb	2.3.7	2.4.10.1	R 109
Chile	Liu-Liu	TE		420	3	† 20.0	200.0	1934	1985	T 2	Fb	2.4.12		R 109
Chile	Mena	TE	R	16	0.06	17.0	200.0	1888	1888	T 4	Fb	4.6.2	2.3.8	R 105
China	Bangqiao	TE	S/R	4 643	492	24.5	2 020.0	1956	1975	T 4	Fb	3.4.2		R 109
China	Meihua	VA (M)	S/R	1	0.115	22.0	64.3	1981	1981	T 3	Fb	4.5.2		R 105
China	Shimantan	TE		1 040	92	25.0	500.0	1952	1975	T 4	Fb			R 105
Colombia	Del Monte							1976	1976					
Czechoslov.	Bila Desna	TE	S/R	32	0.4	18.0	244.0	1915	1916	T 2	Fm	2.2.13	2.0	R 109
France	Bouzey	PG (M)	S/R	7	7	22.9	525.0	1880	1895	T 4	Fb	3.4.2		R 109
France	Malpasset	VA	R	48	47	66.0	222.0	1954	1959	T 2	Ff	1.1.13	1.1.14	R 109
Great Britain	Bilberry	TE			0.31	20.0	90.0	1845	1852	T 4	Fb	2.4.12	2.3.8	R 107
Great Britain	Blackbrook I	TE			0.23	28.0	160.0	1797	1799	T 3	Fb	2.4.10.1	2.3.8, 2.4.12	R 105
Great Britain	Blackbrook II	PG (M)						1801	1804	T 3	Fb	3.1.4		R 109
Great Britain	Dale Dyke	TE			3.2	29.0	380.0	1863	1864	T 2	Fb	2.4.10.1	2.3.8	R 105
Great Britain	Killington	TE			3.5	18.0	250.0	1820	1836	T 4	Fb	2.6.6		R 107
Great Britain	Rhodesworth	TE			2.3	21.0	194.0	1855	1852					
Great Britain	Torside	TE			6.7	31.0	270.0	1855	1854	T 3		4.6.3		
India	Ahraura	TE			61	26.0	670.0	1954	1954	T 4		2.4.4		
India	Chickahole	PG (M)				30.0		1966	1972					
India	Chitauni							1968	1968					
India	Dantiwada	TE/PG	R	6 644	464	61.0	137.5	1969	1973	T 3	Fb	2.3.8	2.3.1	R 104

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Time Époque	Failure Rupture		Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.		Type	Primary cause Cause principale	
India	Dhambara	TE			61	+ 20.7		1975	1976	T2		2.3.8	
India	Guddah	TE				28.		1956	1956	T2		2.3.8	
India	Kaddam	TE			215	41.0		1957	1958	T2		2.3.8	
India	Kaila	TE	R	427	14	26.3	213.4	1955	1959	T3	Ff	4.6.3	2.1.3
India	Kedar Nala	TE		364	17	20.0		1964	1964	T2		2.4.12	
India	Khadakwasla	PG (M)			137	33.0		1879	1961	T4		2.3.9	
India	Kharapur	TE			55	24.0		1956	1961	T3		2.3.8	
India	Kohodiar (Shetrunji)	TE/PG		552	41	36.0	459.	1963	1983	T4			
India	Kundli	PG (M)				45.0		1924	1925	T2		3.2.9	R 109
India	Lower Khajuri	TE		43		16.0		1949	1949	T2		2.4.4	
India	Machhu-II	TE/PG	R	1 105		24.7	3 905.0	1972	1979	T4	Fb	2.3.8	R 104
India	Manivali	TE		48		+ 18.4		1975	1976	T2		2.4.12	
India	Nanak Sagar	TE				16.5	19 300.0	1962	1967	T4		2.4.12	
India	Pagara	PG		100		+ 27.3	1 439.0	1927	1943	T4		4.6.2	
India	Panshet	TE		2 700	212	49.0		1961	1961	T1		2.3.8	
India	Tigra	PG (M)		124	124	25.9	1 341.0	1917	1917	T2	Ff	3.4.6	
India	Waghad	TE		17		32.0		1883	1883	T1		2.3.8	R 406
India	(Unknown Name)								1981				
Italy	Gleno	MV	R	5	5	35.0	224.0	1923	1923	T2	Fb	1.3.2	R 109
Italy	Zerbino	PG	R	18	10	16.5	72.0	1925	1935	T4	Fa	1.3.7.3	R 109
Japan	Heiwaika	TE	R	25.5	0.22	22.3	82.5	1949	1951	T3	Fb	2.3.8	R 108
Japan	Irukaika	TE		16.7	19	28.0	724.1	1633	1868	T4	Fb	2.3.8	R 105
Japan	Komoro	CB	R	0.13		16.0	96.0	1927	1928	T3	Ff	3.1.5	R 105
Japan	Ogayarindo Tameike	TE	S	41	0.16	24.5	98.9	1944	1953	T4	Fb	2.3.8	R 406

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Time Époque	Failure Rupture		Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.		Type	Primary cause Cause principale	
Korea (S)	Hyogiri	TE	R	32	0.22	15.6	109.5	1940	1961	T 4	Fm	2.3.4	R 109
Lesotho	Mafeteng	TE	R			† 23.0	500.0	1988	1988	T 2	Fm	2.4.4	R 107
Libya	Ghattara	TE	S/R	223	5.5	38.5	217.0	1972	1977	T 3	Fm	4.7.10	R 109
Mexico	La Laguna	TE	S/R		4.3	16.0	675.0	1912	1969	T 4	Fb	2.1.2	R 106
New Zealand	Ruahiti	ER	S/R	688	31	32.0	67 000.0	1981	1981	T 3	Ff	2.1.2, 5.1	R 406
Nigeria	Bagaudo	TE	R	496	90	22.9	2 134.0	1970	1988	T 4	Fb	2.3.8	R 109
Pakistan	Bolan	TE/ER	R	220	12	16.0	533.0	1958	1976	T 4	Fb	2.3.8	R 109
Romania	Belci	TE	R	124	2.3	21.6	428.	1963	1991	T 4	Fb	2.3.8	R 405
South Africa	Blyderivier	TE	R			28.0	341.0	1924	1922	T 1	Fb	2.1.5	R 405
South Africa	Elandsdrift	TE	S/R	160	3.3	18.5	600.0	1975	1974	T 1	Fb	2.3.9	R 106
South Africa	Hans Strijdom Coffier	ER	R			15.0	400.0	1980	1977	T 1	Ff	2.3.10	R 106
South Africa	Leeuw Gamka	TE	S		10	15.0	548.0	1920	1928	T 4	Fb	2.4.10.1	R 405
South Africa	Molteno	TE	R		0.22	28.0	800.0	1881	1882	T 2	Fm	4.0.1	R 106
South Africa	Smarrt Syndicate	TE	R	387	98	28.0	2 802.0	1912	1961	T 4	Fb	2.4.12	R 406
South Africa	Spitskop	TE	R	261	61	18.0	683.0	1974	1988	T 4	Fb	2.2.3	R 406
South Africa	Xonxa	TE/ER	S/R			24.0	300.0	1974	1972	T 1	Fb	2.3.10	R 405
Spain	Leguaseca (Fonsagrada)	MV	R	3	0.02	20.0	70.0	1958	1987	T 4	Fb	1.2.13	R 105
Spain	Odiel	ER	R	94	3.3	35.0	154.0	1970	1968	T 1	Fm	2.3.10	R 105
Spain	Puentes	PG (M)	R		13	69.0	291.0	1791	1802	T 4	Fb	3.1.5	R 109
Spain	Tous	ER	R	4 000	53	69.5	785.0	1956	1982	T 3	Fb	2.3.8	R 106
Spain	Vega de Tera	CB (M)	R		7.3	33.5	270.0	1956	1959	T 2	Fm	1.0	R 109
Spain	Xuriguera	PG	R		1.1	42.0	165.0	1902	1944	T 4	Ff	1.1.3	R 109
Sri Lanka	Kantale	TE	R	2 294	136	26.8	2 524.0	1869	1986	T 4	Fm	2.4.11	R 405
Sweden	Noppikoski	TE	R	40	0.7	18.5	175.0	1966	1985	T 4	Fb	4.7.8, 4.11.6	R 106

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Failure Rupture			Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.	Time Époque	Type	Primary cause Cause principale	
Sweden	Selsfors	CB (M)	S			21.0		1943	1943	T2	Fm	1.1.5	R 105
Turkey	Elmalı I	PG/TE	*		1.7	23.0	298.0	1892	1916	T4			R 106
USA	Alamo Arroyo site 2	TE	S		6.6	21.0		1960	1960	T3	Ff	2.1.5	R 109
USA	Anaconda	TE	S	26	0.2	22.0		1898	1938	T4	Ff	2.1.4	R 109
USA	Angels	PG (M)				15.6	120.2	1895	1895	T5	Ff	3.1.5	R 109
USA	Apishapa	TE	S/R	24		35.0	178.3	1920	1923	T2	Fb	2.1.2	R 109
USA	Ashley	CB	S/R	3	0.09	18.0	133.0	1908	1909	T2	Ff	1.1.5	R 106
USA	Austin I	PG (M)	R			18.3	332.5	1893	1893	T2	Ff	3.1.3	R 108
USA	Austin II	CB (M)	R	73	21	20.7	388.6	1915	1915	T3	Ff	3.4.6	R 305
USA	Avalon I	TE/ER				17.5		1893	1893	T2		2.3.8	
USA	Avalon II	TE/ER				17.5		1893	1904	T4		2.4.12	
USA	Baldwin Hills	TE	S	657	11	71.0	198.0	1951	1963	T4	Ff	2.1.2	R 109
USA	Balsam	TE	R			18.0	91.4	1927	1929	T3	Fba	2.4.8	R 109
USA	Bayless	PG	R		1.3	† 15.8	166.0	1909	1911	T2	Ff	1.1.3	R 107
USA	Black Rock	TE/ER	R	77	18	21.3	208.0	1907	1909	T3	Fb	2.1.4	R 103
USA	Bully Creek	ER	R	72	20	38.1	61.0	1925	1925	T5	Fm	2.4.8	R 109
USA	Castlewood	ER	R		4.3	28.0	183.0	1890	1933	T4	Ff	2.4.11	R 109
USA	Caulk Lake	TE	R		0.7	20.0	134.0	1950	1973	T4	Fb	2.4.11	R 106
USA	Cazedero	ER	R		16	21.3	55.0	1906	1965	T4	Fb	4.6.2	R 106
USA	Chambers Lake I	TE	S/R			15.0	213.4	1885	1891	T4	Fm	4.6.1	R 406
USA	Chambers Lake II	TE	S/R		10	15.0	243.8	1885	1907	T4	Fm	4.6.1	R 105
USA	Colley Lake								1963				
USA	Corpus Christi	TE	S	79		31.7	1 244.0	1930	1930	T2	Ff	2.1.5	R 105
USA	Cuba	TE		0.49		15.7		1851	1868	T4	Fb		R 105

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Time Époque	Failure Rupture		Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.		Type	Primary cause Cause principale	
USA	Dykstra	ER	R		9.2	15.2		1912	1926	T 2	Fm	2.3.8	R 109
USA	Elwha River	PG	R			33.0	135.0	1912	1912	T 2	Ff	1.1.5	R 106
USA	Emery	TE	R	19	0.5	16.0	130.0	1850	1966	T 4	Fb	2.4.11	R 106
USA	English	ER	R		18	30.5	100.9	1878	1883	T 3	Ff	2.4.3	R 104
USA	English Water Supply	TE	R		0.61	15.8	148.0	1965	1965	T 2	Ff	2.1.5	R 406
USA	Fred Burr	TE	R		0.63	16.0	99.0	1947	1948	T 1	Fb	2.4.12	R 108
USA	Gallinas	PG (M)	R	2.1	0.23	29.0	210.0	1910	1957	T 4	Fm	3.4.6	R 109
USA	Goose Creek	ER	R			20.0			1900	T 1	Ff	2.3.8	R 105
USA	Graham Lake	TE	S		200	34.1	335.3	1922	1923	T 3	Fb	2.1.5	R 109
USA	Greenlick	TE/ER	R		0.6	19.0	259.0	1901	1904	T 3	Fb	2.1.4	R 201
USA	Hatchtown	TE	R	96	15	18.9	237.7	1908	1914	T 4	Fb	2.4.11	R 109
USA	Hauser Lake I	SP	S/R		66	† 21.0	192.0	1906	1908	T 3	Ff	2.1.5	R 106
USA	Hauser Lake II	PG	S/R		84	40.0	219.0	1911	1969	T 4			R 108
USA	Hebron I	TE	S			17.1	1 127.8	1913	1914	T 3	Ff	2.4.12	R 105
USA	Hebron II	TE	S			17.1	1 127.8	1913	1942	T 4			R 109
USA	Hell Hole	ER	R		2.6	30.0		1966	1964	T 1	Fa	4.7.1	R 406
USA	Horse Creek	TE	R		21	16.9	5 150.0	1912	1914	T 3	Ff	2.1.5	R 201
USA	Jennings Creek 16	ER	R	50	0.31	16.8	113.4	1960	1964	T 3	Fb	2.1.5	R 407
USA	Jennings Creek 3	ER	R	35	0.43	21.0	92.1	1962	1963	T 3	Ff	2.1.4	
USA	Jumbo	TE	R		30	18.3	1 219.2	1905	1910	T 4	Ff	2.1.5	
USA	Lake Barcroft	TE	R		3.1	21.0	62.5	1913	1972	T 4	Fb	2.3.8	R 406
USA	Lake Francis I	TE	R		0.86	15.0	297.3	1899	1899	T 2	Fb	2.4.12	R 105
USA	Lake Francis II	TE	R	61	2.3	24.0	396.0	1901	1935	T 4	Fb	4.1.5	R 406
USA	Lake Hemet	TE	R	24	17	45.0	64.0	1923	1927	T 3	Fa	2.3.8	R 109

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Time Époque	Failure Rupture		Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.		Type	Primary cause Cause principale	
USA	Lake Toxaway	TE	R		13	18.9	117.3	1902	1916	T 4	Ff	2.1.5	R 109
USA	Lake Vera	ER	R			15.0	51.0	1880	1905	T 4	Fb	2.3.8	R 109
USA	Little Deer Creek *	TE	R		1.8	26.0		1962	1963	T 2	Fb	2.4.12	R 109
USA	Littlefield	ER	R			37.0	91.0	1929	1929	T 1	Fb	2.4.12	R 109
USA	Lookout Shoals	TE		6 014	49	24.9	832.0	1915	1916	T 3	Fb	2.3.8, 4.6.2	R 406, R 501
USA	Lower Idaho Falls	ER/PG	R			15.2	275.0	1914	1976	T 4	Fb	2.3.9	R 107
USA	Lower Otay	ER		107	52	46.6	173.0	1901	1916	T 2	Ff	2.3.8	R 106
USA	Lyman	TE	S		43	19.8	256.0	1913	1915	T 3	Ff	2.4.12	R 406
USA	Mammoth	TE	R		14	23.0		1916	1917	T 3	Fb	4.6.4.2	R 109
USA	McMahon Gulch	TE			0.03	17.0	137.0	1924	1925	T 3	Fb	2.1.8	R 105
USA	Mill Creek (California)	TE	R		0.30	20.0	84.0	1889	1957	T 4	Fb	2.4.16	R 406, R 502
USA	Moyie River	VA	R		0.34	16.0	47.0		1926	T 5	Fb	1.3.7.2	R 305
USA	Overholser	ER	R		18	16.5	247.0	1920	1923	T 3	Ff	2.3.8	R 501
USA	Owen	TE		71	60	17.1	247.0	1915	1914	T 1	Fb	2.4.16	R 406
USA	Quail Creek	TE			50	24.0	610.0	1984	1988	T 3	Ff	2.1.4	R 106
USA	Schaeffer	TE				30.0	335.0	1911	1921	T 4	Fb	2.4.10	R 109
USA	Sepuhveda	TE	R			+ 20.0			1914	T 4	Ffb	2.3.8	R 109
USA	Sheep Creek	TE	S		1.4	18.0	330.0	1969	1970	T 2	Fb	2.4.16	R 105
USA	Sinker Creek	TE	R		3.3	21.0	333.0	1919	1943	T 4	Fb	2.2.13	R 109
USA	Snake Ravine	TE/ER	R		18	19.0	256.0	1898	1898	T 4	Fb	2.3.8	R 109
USA	South Fork	PG	R		47	21.9	213.0	1852	1889	T 4	Fb	2.3.8	R 406
USA	St Francis	PG	R			62.5		1926	1928	T 3	Ff	1.1.1, 1.1.3	R 109

Continued / Suite

Country Pays	Dam Name Nom du barrage	Type		Volume		Height Hauteur (m)	Length Longueur (m)	Year Année		Failure Rupture			Remedial measures Mesures prises
		Dam Barrage	Found. Fond.	Dam Body Barrage (1 000 m ³)	Reservoir (10 ⁶ m ³)			Cons.	Fail. Rup.	Time Époque	Type	Primary cause Cause principale	
USA	Stockton Creek	ER		61	0.5	28.0	100.0	1950	1950	T 3		2.4.12	R 106
USA	Sweetwater Main	TE	R	41	34	36.0	213.0	1911	1916	T 4	Fm	2.3.8	R 105
USA	Swift	TE/ER	S/R	210	37	57.0	225.0	1914	1964	T 4	Fm	4.6.2	R 109
USA	Teton	TE/ER	S/R	7 646		93.0	900.0	1976	1976	T 2	Ffb	2.4.12	R 109
USA	Toteson	TE		17	1.4	† 15.0	96.0	1898	1953	T 4	Fm	2.4.16	R 105
USA	Utica	TE	S			21.0		1873	1902	T 4	Fm	2.2.12	R 109
USA	Van Norman Lake	ER	R	2 500	25	43.0	664.5	1921	1971	T 4	Fm	2.3.7	R 106
USA	Vaughn Creek	VA	R			19.	91.5	1926	1926	T 2	Fm	1.1.4	R 109
USA	Wagner Creek	TE			0.74	15.0	98.0	1918	1938	T 4	Fm	4.6.1	R 109
USA	Walnut Grove	ER	R	35	11	33.0	122.0	1888	1890	T 3	Fm	2.3.8	R 109
USA	Walter Bouldin	TE		1 920		50.0	2 268.0	1967	1975	T 4	Fb	2.4.9	R 106
USA	Wesley E. Seale	TE			374	25.0	1 804.0	1958	1965	T 4	Fa	4.7.4	R 512
USA	Whitewater Brook Upper	TE			0.52	19.0	137.0	1949	1972	T 4	Fm	4.6.2	R 109
USA	Wisconsin Dells	ER	R		25	18.0	79.0	1909	1911	T 3	Fm	2.3.8	R 109
USSR	Nizhne Svirskaya	TE	S/R	225	1 190	28.0	1 860.0	1954	1955	T 3	Fm	2.4.13	R 108
USSR	Sargazonskaya	TE			2.7	23.0	510.0	1980	1987	T 4	Fm	2.3.8	R 108
Yugoslavia	Idbar	VA	R	8	1.9	38.0	108.0	1959	1960	T 2	Ff	1.1.5	R 108
Yugoslavia	Ovar Banja	TE						1952	1965	T 4	Fa	4.11.6	R 108

ANNEXES / APPENDICES

Annexe I. Classification des causes de rupture des barrages	Appendix I. Classification of causes of dam failures
Annexe II . Types de rupture	Appendix II . Failure types
Annexe III. Moments des ruptures	Appendix III. Occasions of failure
Annexe IV. Mesures prises après rupture	Appendix IV. Remedial measures
Annexe V. Types de barrage	Appendix V. Dam types
Annexe VI. Questionnaire sur les ruptures de barrages	Appendix VI. Questionnaire on dam failures

**CLASSIFICATION DES CAUSES DE RUPTURE DES BARRAGES
(Codification)**

- 1. Barrages en béton, y compris leurs fondations**
 - 1.0. *Mauvaise conception*
 - 1.1. *Due aux fondations*
 - 1.1.1. Reconnaissances incomplètes ou inadaptées
 - 1.1.2. Déformations et tassements
 - 1.1.3. Résistance au cisaillement
 - 1.1.4. Percolation
 - 1.1.5. Érosion interne
 - 1.1.5.1. en fondation
 - 1.1.5.2. dans les appuis
 - 1.1.8. Contraintes de traction au pied amont du barrage
 - 1.1.11. Rideaux d'injection et autres dispositifs d'étanchéité
 - 1.1.14. Écoulement dans le système de drainage
 - 1.2. *Due au béton*
 - 1.2.3. Résistance au gel et dégel
 - 1.2.8. Perméabilité
 - 1.2.13. Vieillessement du béton
 - 1.3. *Due à des actions imprévues ou de grandeur exceptionnelle (en principe, lorsque la détérioration ne tombe pas sous d'autres rubriques)*
 - 1.3.2. Sous-pression
 - 1.3.7. Submersion
 - 1.3.7.2. des appuis
 - 1.3.7.3. du corps du barrage
 - 1.3.8. Détérioration du contact rocher-béton
 - 1.4. *Due au comportement structural des barrages voûtes et voûtes multiples (y compris la période de construction)*
 - 1.4.5. Culées artificielles et fondation
 - 1.5. *Due au comportement structural des barrages-poids et à contreforts*
 - 1.5.2. Contraintes de traction
 - 1.5.6. Revêtements
- 2. Barrages en remblai, y compris leurs fondations**
 - 2.0. *Mauvaise conception*

CLASSIFICATION OF CAUSES OF DAM FAILURES
(Used codes)

- 1. Concrete dams including foundations**
 - 1.0. *Inadequate design*
 - 1.1. *Due to foundations*
 - 1.1.1. Inadequacy of site investigation
 - 1.1.2. Deformation and land subsidence
 - 1.1.3. Shear strength
 - 1.1.4. Seepage
 - 1.1.5. Internal erosion
 - 1.1.5.1. in foundation
 - 1.1.5.2. in abutment
 - 1.1.8. Tensile stresses at the upstream toe
 - 1.1.11. Grout curtains and other watertight systems
 - 1.1.14. Leak of drainage system
 - 1.2. *Due to concrete*
 - 1.2.3. Resistance to freezing and thawing
 - 1.2.8. Permeability
 - 1.2.13. Ageing of concrete
 - 1.3. *Due to unforeseen actions or to actions of exceptional magnitude (as a principle, when the case does not fall under other headings)*
 - 1.3.2. Uplift
 - 1.3.7. Overtopping
 - 1.3.7.2. of abutment
 - 1.3.7.3. of main section
 - 1.3.8. Deterioration of concrete-rock interface
 - 1.4. *Due to structural behaviour of the arch and multiple arch dams (including the construction period)*
 - 1.4.5. Artificial abutments and foundation
 - 1.5. *Due to structural behaviour of gravity and buttress dams*
 - 1.5.2. Tensile stresses
 - 1.5.6. Facings
- 2. Embankment dams, including foundations**
 - 2.0. *Inadequate design*

- 2.1. *Due aux fondations*
 - 2.1.2. Déformations et tassements
 - 2.1.3. Résistance au cisaillement
 - 2.1.4. Percolation
 - 2.1.5. Érosion interne (renard)
 - 2.1.12. Traitement de consolidation
 - 2.1.17. Réactivation d'un glissement ancien
- 2.2. *Due aux matériaux et à l'exécution des remblais, à l'exclusion des filtres et des drains (voir 2.4.)*
 - 2.2.3. Argiles dispersives
 - 2.2.4. Limons et sables fins uniformes
 - 2.2.12. Mise en place
 - 2.2.13. Compactage
- 2.3. *Due à des actions imprévues ou de grandeur exceptionnelle (en principe, lorsque le phénomène ne tombe pas sous d'autres rubriques)*
 - 2.3.1. Pression hydrostatique et poussée des sédiments (y compris pression ou choc des glaces)
 - 2.3.4. Précipitation
 - 2.3.5. Vagues dans la retenue
 - 2.3.7. Tremblements de terre (naturels ou provoqués)
 - 2.3.7.1. Tirs de mine violents à proximité
 - 2.3.8. Submersion
 - 2.3.9. Rupture d'un barrage à l'amont
 - 2.3.10. Retard dans les travaux de construction
- 2.4. *Due au comportement*
 - 2.4.2. Noyau imperméable
 - 2.4.3. Autres systèmes d'étanchéité (y compris acier, bois et béton)
 - 2.4.4. Zones de transition
 - 2.4.8. Protection des talus
 - 2.4.9. Liaison entre éléments en béton (maçonnerie, acier...) et remblais adjacents
 - 2.4.10. Mouvements différentiels (y compris transfert de charge, fissuration, effet d'arc et fracturation hydraulique)
 - 2.4.10.1. Tassement imprévu dans le remblai entraînant des fissures
 - 2.4.11. Percolation
 - 2.4.12. Érosion interne (renard)
 - 2.4.13. Liquéfaction
 - 2.4.14. Glissements amont
 - 2.4.15. Glissements aval
 - 2.4.16. Rupture ou écoulement anormal dans un conduit à l'intérieur du remblai
- 2.6. *Due à l'entretien*
 - 2.6.6. Brèche volontaire pour éviter la submersion
- 3. Barrages en maçonnerie, y compris leurs fondations**
 - 3.1. *Due aux fondations*

- 2.1. *Due to foundations*
 - 2.1.2. Deformation and land subsidence
 - 2.1.3. Shear strength
 - 2.1.4. Seepage
 - 2.1.5. Internal erosion (piping)
 - 2.1.12. Strengthening treatment
 - 2.1.17. Sliding of ancient landslide
 - 2.2. *Due to embankment materials and method of construction, excluding filters and drains (see 2.4)*
 - 2.2.3. Dispersive clays
 - 2.2.4. Silts and fine uniform sands
 - 2.2.12. Placing
 - 2.2.13. Compaction
 - 2.3. *Due to unforeseen actions or to actions of exceptional magnitude (as a principle, when the case does not fall under other headings)*
 - 2.3.1. Hydrostatic pressure and pressure due to silt accumulation (including pressure and impact of ice in the reservoir)
 - 2.3.4. Precipitation
 - 2.3.5. Waves in the reservoir
 - 2.3.7. Earthquakes (natural or triggered)
 - 2.3.7.1. Strong blasting nearby
 - 2.3.8. Overtopping
 - 2.3.9. Rupture of dam upstream
 - 2.3.10. Delay in construction
 - 2.4. *Due to structural behaviour of the dam*
 - 2.4.2. Impervious core
 - 2.4.3. Other watertight systems - including steel, wood and concrete
 - 2.4.4. Transition zones
 - 2.4.8. Slope protection
 - 2.4.9. Bonding between concrete (masonry, steel, ...) structures and adjoining embankments
 - 2.4.10. Differential movement (including load transfer, cracking, arching, hydraulic fracture)
 - 2.4.10.1. Unexpected settlement in the body producing cracks
 - 2.4.11. Seepage
 - 2.4.12. Internal erosion (piping)
 - 2.4.13. Liquefaction
 - 2.4.14. Upstream slips
 - 2.4.15. Downstream slips
 - 2.4.16. Rupture or exceptional flow of conduits inside the body of the dam
 - 2.6. *Due to maintenance*
 - 2.6.6. Dam cut to prevent overtopping
 - 3. Masonry dams including foundations**
 - 3.1. *Due to foundations*
-

- 3.1.3. Résistance au cisaillement
 - 3.1.4. Percolation
 - 3.1.5. Érosion interne
 - 3.2. *Due au mortier*
 - 3.2.9. Construction de la maçonnerie (y compris l'ordre de la construction)
 - 3.4. *Due à des actions imprévues ou de grandeur exceptionnelle (en principe, lorsque le phénomène ne tombe pas sous d'autres rubriques)*
 - 3.4.2. Sous-pression
 - 3.4.6. Submersion
 - 4. Ouvrages annexes**
 - 4.0. *Mauvaise conception*
 - 4.0.1. Galeries et chenaux
 - 4.1. *Due aux fondations des ouvrages (quand celles-ci n'ont pas les mêmes caractéristiques que celles du barrage)*
 - 4.1.2. Déformations et tassements
 - 4.1.5. Érosion interne
 - 4.4. *Due à l'acier et à d'autres matériaux*
 - 4.4.4. Résistance mécanique
 - 4.5. *Due à des actions imprévues ou de grandeur exceptionnelle (en principe, lorsque le phénomène ne tombe pas sous d'autres rubriques)*
 - 4.5.6. Retard dans la réalisation au moment d'une crue
 - 4.6. *Due au comportement structural*
 - 4.6.1. Comportement structural de l'évacuateur de crue
 - 4.6.2. Capacité insuffisante de l'évacuateur de crue
 - 4.6.3. Érosion sous l'évacuateur de crue
 - 4.6.4. Mauvaise conception de l'évacuateur de crue
 - 4.6.4.2. du canal, ou de la galerie
 - 4.7. *Due à l'écoulement, au niveau de l'eau et au charriage (y compris pendant la période de construction)*
 - 4.7.1. Débit excessif
 - 4.7.4. Vagues
 - 4.7.8. Matériaux solides charriés par le courant
 - 4.7.9. Évacuation des corps flottants
 - 4.7.10. Érosion le long de la paroi extérieure d'une conduite enterrée
 - 4.9. *Due à l'exploitation*
 - 4.9.2. Mauvaises consignes de manœuvre des organes d'évacuation
 - 4.11. *Due à l'entretien*
 - 4.11.6. Mauvais fonctionnement des organes d'évacuation
 - 5. Retenues**
 - 5.1. *Glissement des versants*
-

- 3.1.3. Shear strength
- 3.1.4. Seepage
- 3.1.5. Internal erosion
- 3.2. *Due to mortar*
- 3.2.9. Masonry construction (including order of placement)
- 3.4. *Due to unforeseen actions or to actions of exceptional magnitude (as a principle, when the case does not fall under other headings)*
- 3.4.2. Uplift
- 3.4.6. Overtopping
- 4. Appurtenant works**
- 4.0. *Inadequate design*
- 4.0.1. Tunnels and canals
- 4.1. *Due to foundations (when these ones do not have the same characteristics as dam foundations)*
- 4.1.2. Deformation and land subsidence
- 4.1.5. Internal erosion
- 4.4. *Due to steel and other materials*
- 4.4.4. Mechanical strength
- 4.5. *Due to unforeseen actions or to actions of exceptional magnitude (as a principle, when the case does not fall under other headings)*
- 4.5.6. Delay in construction at the time of flood
- 4.6. *Due to structural behaviour*
- 4.6.1. Structural behaviour of spillways
- 4.6.2. Insufficient capacity of spillway
- 4.6.3. Erosion of spillway basement
- 4.6.4. Inadequate design of spillway
- 4.6.4.2. of canal or tunnel
- 4.7. *Due to water flow, water level and water-borne debris (including construction periods)*
- 4.7.1. Excessive rates of flow
- 4.7.4. Waves
- 4.7.8. Solid materials carried by water flow
- 4.7.9. Discharge of floating materials
- 4.7.10. Piping outside inserted conduit
- 4.9. *Due to operation*
- 4.9.2. Inadequate instructions for operating the discharge equipment
- 4.11. *Due to maintenance*
- 4.11.6. Malfunction of discharge equipment
- 5. Reservoirs**
- 5.1. *Slope sliding*

TYPES DE RUPTURE

- Ff - Rupture imputable à la fondation
- Fm - Rupture imputable aux matériaux du barrage
- Fb - Rupture imputable au comportement du corps du barrage
- Fa - Rupture imputable aux ouvrages annexes
- Ffb - Rupture imputable à la fondation et au comportement du corps du barrage
- Ffa - Rupture imputable à la fondation et aux ouvrages annexes
- Fba - Rupture imputable au comportement du corps du barrage et aux ouvrages annexes

FAILURE TYPES

- Ff - Failure due to the dam foundation
- Fm - Failure due to the dam materials
- Fb - Failure due to the structural behavior of the dam body
- Fa - Failure due to the appurtenant works
- Ffb - Failure due to the foundation and to the structural behavior of the dam body
- Ffa - Failure due to the foundation of the dam and to the appurtenant works
- Fba - Failure due to the structural behavior of the dam body and to the appurtenant works

MOMENTS DES RUPTURES

- T 1 - Pendant la construction
- T 2 - Pendant le premier remplissage
- T 3 - Pendant les cinq premières années
- T 4 - Après cinq ans
- T 5 - Inconnue

OCCASIONS OF FAILURE

- T 1 - During construction
- T 2 - During the first filling
- T 3 - During the first five years
- T 4 - After five years
- T 5 - Not available

MESURES PRISES APRÈS RUPTURE

De nature générale

- R 103 Abaissement du niveau de la retenue
- R 104 Rehaussement de la crête du barrage
- R 105 Reconstruction complète (même conception)
- R 106 Reconstruction avec une nouvelle conception
- R 107 Néant
- R 108 Inconnu
- R 109 Abandon du barrage

En fondation

- R 201 Traitement d'étanchéité

Dans les barrages en maçonnerie et en béton

- R 305 Réfection des parties détériorées

Dans les barrages en remblai

- R 401 Réparation du noyau étanche
- R 405 Blocage des fissures ou des cavités
- R 406 Réfection des zones détériorées
- R 407 Rechargement du talus amont ou autres méthodes de stabilisation

Dans les ouvrages annexes

- R 501 Augmentation du débit de l'évacuateur de crue
- R 502 Construction d'ouvrages annexes complémentaires
- R 509 Construction ou remise en état des drains
- R 512 Construction, modification ou réparation des vannes

REMEDIAL MEASURES

Of a general nature

- R 103 Lowering of reservoir level
- R 104 Raising of dam crest
- R 105 Overall reconstruction (same design)
- R 106 Reconstruction with a new design
- R 107 None
- R 108 Not available
- R 109 Scheme abandoned

In foundation

- R 201 Watertightening treatment

In concrete and masonry dams

- R 305 Reconstruction of deteriorated zones

In embankment dams

- R 401 Impervious core repair
- R 405 Filling in of cracks and cavities
- R 406 Reconstruction of deteriorated zones
- R 407 Upstream slope flattening, construction of upstream berm or other stabilization methods

In appurtenant works

- R 501 Discharge increase
- R 502 Construction of additional appurtenant works
- R 509 Construction and repair of drains
- R 512 Construction, modification and repair of valves and gates

TYPES DE BARRAGE

- PG - Poids en béton
- CB - A contreforts en béton
- VA - Voûte en béton
- MV - Voûtes multiples en béton
- TE - Terre
- ER - Enrochement
- PG (M) - Poids en maçonnerie
- CB (M) - A contreforts en maçonnerie
- VA (M) - Voûte en maçonnerie

DAM TYPES

- PG - Concrete gravity
- CB - Concrete buttress
- VA - Concrete arch
- MV - Concrete multi-arch
- TE - Earthfill
- ER - Rockfill
- PG (M) - Masonry gravity
- CB (M) - Masonry buttress
- VA (M) - Masonry arch

**COMITÉ DE LA SÉCURITÉ DES BARRAGES DE LA CIGB
(SOUS-COMITÉ A)**

QUESTIONNAIRE SUR LES RUPTURES DE BARRAGES

Définition de RUPTURE - Rupture ou mouvement d'une partie d'un barrage ou de sa fondation, tel que l'ouvrage ne puisse plus retenir d'eau. En général, le résultat sera une lâchure d'un volume d'eau important entraînant des risques pour les personnes ou les biens à l'aval.

A. Statistiques

1. Nom du barrage
2. Pays
3. Situation
 - i) État Province
 - District ou Département
 - ii) Ville la plus proche
 - iii) Cours d'eau
 - iv) a) longitude b) latitude
4. Inscription au Registre Mondial des Barrages (oui ou non)
Volume
- Pays Page Ligne
5. Type de barrage (terre et/ou enrochement, poids en béton ou maçonnerie rectiligne ou courbe, poids évidé, voûte, à contreforts, mixte (préciser les matériaux), préciser les autres)
6. Volume accumulé lorsque le barrage est complètement rempli hm³
7. Époque de la construction /
8. Date de la rupture : Année mois jour
9. Type et mode de rupture
10. Propriétaire

B. Questionnaires antérieurs

11. Cette rupture a-t-elle été portée à la connaissance :
 - 1) du Comité des ruptures et accidents (questionnaire de 1964)?
(Oui ou Non)

ICOLD COMMITTEE ON SAFETY OF DAMS - SUBCOMMITTEE A

QUESTIONNAIRE ON DAM FAILURES

Definition of FAILURE - Collapse or movement of part of a dam or its foundation, so that the dam cannot retain water. In general, a failure results in the release of large quantities of water imposing risks on the people or property downstream.

A. Basic Statistics

1. Name of the dam
2. Country
3. Location
 - i) State Province
 - District
 - ii) Closest City
 - iii) River
 - iv) a) Longitude b) Latitude
4. Inscription in the World Register of Dams (Yes or No)
Volume
- Country Page Line
5. Type of dam (Earthfill and/or Rockfill, Straight or Curved Gravity Concrete/Masonry, Hollow Gravity, Arch, Buttress, Composite (Indicate materials), others indicate)
6. Storage at full reservoir level hm³
7. Years of construction /
8. Date of failure : Year month day
9. Type and mode of failure
10. Owner

B. Previous Questionnaires

11. Was this failure reported to the :
 - 1) Committee on Failures and Incidents (questionnaire of 1964)?
(Yes or No)

- 2) du Comité de la détérioration (questionnaire de 1975)?
(Oui ou Non)
- 3) du Comité USCOLD des ruptures et accidents (questionnaire de 1973)?
(Oui ou Non)

En cas de réponse affirmative (1), donner les réponses aux questions auxquelles il n'a pas été répondu antérieurement.

C. *But*

12. Destination du barrage :
- Énergie (puissance MW)
 - Irrigation (surface irriguée ha)
 - Fourniture d'eau (fourniture annuelle m³)
 - Navigation
 - Écrêtement des crues

D. *Description du barrage*

13. Hauteur maximale du barrage
- i) au-dessus du point le plus bas des fondations m
 - ii) au-dessus du lit de la rivière m
 - iii) profondeur de l'écran d'étanchéité en dessous du lit de la rivière m
14. Longueur en crête m
15. Volume des matériaux utilisés pour le barrage m³
- 15 a. Revanche - au niveau normal du réservoir m
au niveau maximal permis du réservoir m
16. Informations supplémentaires sur la construction ou le traitement des fondations (drainage, injection, etc.)
-
-

E. *Description des fondations*

17. Fondations du barrage (alluvion, sol meuble, rocher, âge géologique, caractéristiques géotechniques) (éventuellement, préciser les éléments concernés par la rupture)
-

(1) Le Sous-Comité enverra une photocopie des réponses aux questionnaires antérieurs concernant les barrages au dehors des États-Unis.

- 2) Committee on Deterioration (questionnaire of 1975)?
(Yes or No)
- 3) USCOLD Committee on Failures and Incidents (questionnaire of 1973)?
(Yes or No)

Even if it has (1), please provide answers to the points not answered before.

C. *Purpose*

- 12. Purpose of the dam :
 - Power (capacity MW)
 - Irrigation (area ha)
 - Water supply (yield volume per year m³)
 - Navigation
 - Flood control

D. *Description of dam*

- 13. Maximum height
 - i) Above deepest foundation m
 - ii) Above the river bed m
 - iii) Depth of cut-off below the river bed m
- 14. Crest length m
- 15. Volume of material in the dam m³
- 15 a. Freeboard - at normal full reservoir level m
at maximum allowable reservoir level m
- 16. Other information on construction and on foundation treatment (drainage, grouting, etc.)
.....
.....

E. *Description of foundations*

- 17. Foundations of dams (alluvium, soil-type, rock-type, geological age, geotechnical characteristics). Give particulars of foundation relevant to the failure, if any
.....

(1) For dams outside the USA a photocopy of the answer to previous questionnaires will be sent by the Subcommittee.

18. Préciser la sismicité de la zone et l'intervention possible d'un séisme lors de la rupture
-
-

F. *Description de l'évacuateur, y compris l'évacuateur auxiliaire éventuel et/ou la vidange*

19. Évacuateur
- Type
- Avec vannes ou sans vannes
- Capacité d'évacuation m³/s
- Revanche (au-dessus du niveau maximal de crue) m
- 19 a. Évacuateur auxiliaire (Oui ou Non)
- Type
- Capacité d'évacuation m³/s
- 19 b. Vidanges
- Type
- Capacité d'évacuation m³/s

G. *Description de la rupture*

20. Décrire l'enchaînement des événements et les circonstances de la rupture
-
-
-
- Préciser les erreurs ou les négligences humaines
-
-
21. La rupture a-t-elle eu lieu pendant le premier remplissage? (Oui ou Non)
-

H. *Cause de la rupture*

22. Cause(s) de la rupture (si elles n'ont pas été déterminées exactement, indiquer les plus vraisemblables)
-
-
23. En cas de submersion, préciser (en cas affirmatif) si :
- i) l'évacuateur était insuffisant
- ii) la crue était exceptionnelle
- iii) les vannes n'ont pas bien fonctionné

18. Indicate seismicity of the zone and possible occurrence of a seism during the accident
-
-

F. *Description of spillway and any auxiliary spillway, and/or outlets*

19. Spillway
 Type
- Gated or Ungated
- Flood capacity m³/s
- Freeboard (above maximum flood water level) m
- 19 a. Auxiliary spillway (Yes or No)
 Type
- Flood capacity m³/s
- 19 b. Outlets
 Type
- Flood capacity m³/s

G. *Description of failure*

20. Describe sequence of events and circumstances (rupture scenario)
-
-
-
- Describe human errors or neglect
-
-
21. Did the dam failed during the first filling? (Yes or No)
-

H. *Cause of failure*

22. Cause(s) of failure (if not known, indicate most probable ones)
-
-
23. If there was overtopping indicate (in case of yes) if :
- i) the spillway was insufficient
- ii) the flood was abnormal
- iii) the gates malfunctioned

- iv) autres erreurs de conduite
- v) il y a eu des glissements de berges du réservoir
- vi) autres causes (chutes de glace, avalanches, etc.)
- 24. Si le vieillissement du barrage est une des causes de la rupture, indiquer son état et la surveillance dont il était l'objet avant la rupture
- 25. Si la rupture a eu lieu pendant le premier remplissage, des précautions ou mesures particulières avaient-elles été prises (Oui ou Non). Préciser
- 26. Indiquer la surface inondée

I. *Conséquences de la rupture*

- 27. Si une action judiciaire est intervenue, indiquer la décision judiciaire définitive
- 28. Y a-t-il eu une enquête technique sur la rupture? Si oui, qui l'a réalisée? Quelles ont été les conclusions?
- 29. Dommages causés par la rupture :
 - i) pertes de vies humaines (éventuellement)
 - ii) pertes de biens (montant)
 - iii) pertes de revenus-finalité du barrage (montant annuel)
 - iv) autres pertes (montant)
 - v) conséquences sur les aménagements hydrauliques situés à l'aval (barrages, évacuateurs de crue, ouvrages de dérivation, centrales hydro-électriques, prises d'eau, etc.)

J. *Précautions*

- 30. Préciser éventuellement les plans de secours et les systèmes d'alerte, et leurs conséquences

- iv) other operational error
- v) there was a slide of the reservoir slope
- vi) other causes (fall of ice, avalanches, etc.)
- 24. If the age of the dam was a cause of rupture, indicate situation and inspections before
- 25. If the dam failed during first filling, was any precaution or procedure being adopted? (Yes or No). Describe
- 26. Indicate the inundated area

I. *Consequences of failure*

- 27. If court action was taken, describe final court decision
- 28. Was a technical investigation of the failure conducted? If so, by whom .
What conclusions were drawn?
- 29. Damages due to the failure :
 - i) loss of lives, if any
 - ii) loss of property (amount)
 - iii) loss of benefits due to dam purposes (amount per year)
 - iv) other losses (amount)
 - v) influences on hydraulic structures downstream (dams, spillways, diversion works, power stations, intakes, etc.)

J. *Precautions*

- 30. Details of any emergency preparedness and warning system

31. Avait-on établi préalablement une carte des zones menacées par l'inondation ou un état des zones menacées par une rupture? (Préciser)
-
-
32. En dehors du propriétaire ou de l'exploitant, y avait-il un organisme public ayant la responsabilité :
- i) de la sécurité du barrage?
- ii) de la surveillance du barrage?
33. Le barrage disposait-il d'un système d'auscultation? Donner des précisions sur les mesures ou observations faites durant la construction, le remplissage, l'exploitation du barrage, et avant et après la rupture
-
-

K. *Remise en état*

34. Le barrage a-t-il été abandonné après la rupture? (Oui ou Non)
- A-t-il été remis en état? Préciser
-
-
- Si oui, quelles précautions ont été prises pour éviter une autre rupture? Préciser
-
-
- Dates de la remise en état et du nouveau remplissage
-
- Un autre barrage a-t-il été construit sur le même site? (Oui ou Non) ...
- De quel type Quand Est-il en exploitation?
-
-

L. *Autres*

35. Autres précisions pertinentes. Éventuellement, indiquer le projeteur, l'ingénieur conseil et le constructeur aux diverses phases
-
-

31. Was there an inundation map or description of areas in danger, in case of failure, prepared? Describe
-
-
32. Was there any Agency or Public Organisation besides the owner or user entrusted with the tasks of :
- i) ensuring the dam safety?
- ii) observing the behaviour of the dam?
33. Had the dam a monitoring system? Give details of any observation and measurements during construction, filling of reservoir, operation, before and after the failure
-
-

K. Restoration

34. Has the dam been abandoned after failure? (Yes or No)
- Has any restoration of the dam been done? Describe
-
-
- If so, what precautions have been taken to prevent another failure?
Describe
-
-
- Dates of restoration and new filling
-
- Was a new dam built in the site? (Yes or No)
- What type When Is the new reservoir in use?
-
-

L. Other

35. Other relevant details, if any. Eventually indicate designer, consultant and contractor at various phases
-
-

M. *Bibliographie*

36. Donner les références bibliographiques relatives :

Au barrage

.....

.....

.....

.....

.....

A la rupture

.....

.....

.....

.....

.....

M. *Bibliography*

36. Indicate bibliographical references :

On dam

.....

.....

.....

.....

.....

On failure

.....

.....

.....

.....

.....

Imprimerie de Montlignon
61400 La Chapelle Montlignon
Dépôt légal : mars 1995
N° 17123
ISSN 0534-8293
Couverture : Olivier Magna

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne



Computerized Archives on line

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



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