

# OPERATION

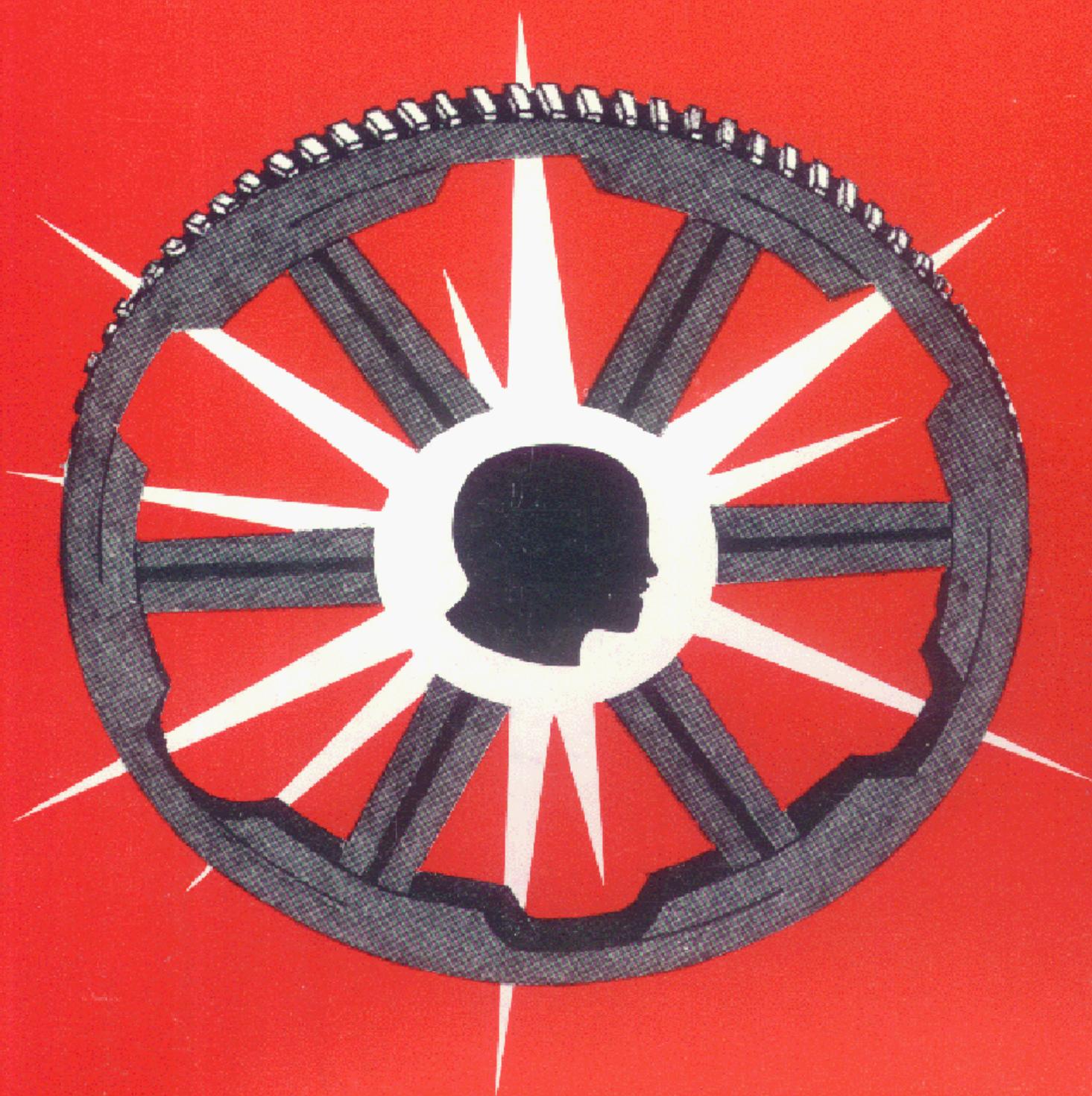
OF HYDRAULIC STRUCTURES OF DAMS

# EXPLOITATION

DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DE BARRAGES



**BULLETIN 49a**  
**1986**



*Report prepared on behalf of the French Committee on Large Dams  
by Jacques Combelles & Jean-Michel Tinland (Électricité de France)  
for the Committee on Hydraulics for Dams*

*English translation :  
initial text by R. Chadwick  
final text revised by J.W.F. Ray (Thames Water)  
Updating : November 1986*

Rapport préparé au nom du Comité Français des Grands Barrages  
par Jacques Combelles & Jean-Michel Tinland (Électricité de France)  
pour le Comité de l'Hydraulique des Barrages

Traduction anglaise :  
texte initial par R. Chadwick  
texte final revu par J.W.F. Ray (Thames Water)  
Mise à jour : novembre 1986

# **OPERATION**

## **OF HYDRAULIC STRUCTURES OF DAMS**

# **EXPLOITATION**

## **DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DE BARRAGES**

*Cover* : Drawing by Loïc Dronneau

Successful dam operating rules can only be based on successful design.

The circle, a tooth wheel in this case, is the symbol of this type of balanced unity. The central point of conception, the hub, supports and illuminates the rim, where the teeth reflect the idea of function; the arms suggest the intimate and necessary link between design and operation, as well as the construction phase which takes place between them.

*Couverture* : Dessin Loïc Dronneau

Il ne peut y avoir de bonnes règles d'exploitation sans un bon projet.

Le cercle, ici une roue dentée, traduit cette perfection dans l'unité. Le moyeu, siège de la conception, soutient et illumine la jante dont l'engrenage symbolise l'idée de fonctionnement; les bras suggèrent à la fois cette liaison intime et nécessaire entre conception et exploitation et la phase de construction qui prend place entre elles deux.

**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.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS	<b>5</b>
INTRODUCTION	<b>6/7</b>
1. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DES BARRAGES, IMPORTANCE, ET QUALITÉS SOUHAITABLES POUR L'EXPLOITANT	<b>8/9</b>
2. LES MOYENS EN PERSONNEL	<b>12/13</b>
2.1. Types d'organisation	<b>12/13</b>
2.2. Remarques	<b>14/15</b>
3. CONTROLES ET ESSAIS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES	<b>18/19</b>
3.1. Contrôles	<b>18/19</b>
3.2. Méthodes employées pour le contrôle des parties immer- gées	<b>18/19</b>
3.3. Essais des organes de vidange	<b>20/21</b>
3.4. Exploitation et entretien des orga- nes de vidange	<b>20/21</b>
3.5. Essais des évacuateurs de crue	<b>22/23</b>
4. EXPLOITATION EN PÉRIODE DE CRUE	<b>26/27</b>
4.1. Pratiques en vigueur	<b>26/27</b>
4.2. Remarques, enseignements et recommandations	<b>52/53</b>
5. CONCLUSION	<b>62/63</b>
ANNEXES - EXEMPLES	<b>67</b>
1. Barrage de Caderousse (France)	<b>68/69</b>
2. Barrage de Sonohara (Japon)	<b>80/81</b>
3. Barrage de Mattmark (Suisse)	<b>88/89</b>
4. Barrage d'Aldeavila (Espagne)	<b>92/93</b>
5. Barrage Hendrik Verwoerd (Af. Sud)	<b>98/99</b>
6. Barrage Luis L. Leon (Mexique)	<b>104/105</b>
7. Barrage de Folsom (États-Unis)	<b>108/109</b>

---

## TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD	
INTRODUCTION	
1. DESIRABLE OPERATIONAL FEAT- URES	
2. STAFFING	
2.1. Types of organization and exam- ples	
2.2. Commentary	
3. INSPECTION AND TESTING	
3.1. Inspection	
3.2. Methods for inspecting parts under water	
3.3. Operational tests of bottom ou- tlets	
3.4. Operation and maintenance of bottom outlets	
3.5. Spillway tests	
4. OPERATION IN FLOOD SEASONS	
4.1. Current practice	
4.2. Conclusions and recommenda- tions	
5. CONCLUSION	
APPENDICES - EXAMPLES	
1. Caderousse Dam (France)	
2. Sonohara Dam (Japan)	
3. Mattmark Dam (Switzerland)	
4. Aldeavila Dam (Spain)	
5. Hendrik Verwoerd Dam (South Africa)	
6. Luis L. Leon Dam (Mexico)	
7. Folsom Dam (USA)	

MEMBRES DU COMITÉ DE L'HYDRAULIQUE DES BARRAGES  
MEMBERS OF THE COMMITTEE ON HYDRAULICS FOR DAMS

J. M. MENDILUCE	(Espagne/Spain), Président/Chairman (*)
M. CARLIER	(France/France), Président/Chairman (**)
H. OLIVIER	(Afrique du Sud/South Africa)
K. BELBACHIR	(Algérie/Algeria)
J. KNAUSS	(Allemagne/Germany)
N. PINTO	(Brésil/Brazil)
G. MARINIER	(Canada/Canada)
J. TEJADA	(Colombie/Colombia)
J. H. SONU	(Corée/Korea)
Earl J. BECK	(États-Unis/USA)
A. ALVARES RIBEIRO	(Portugal/Portugal)
V. SEMENKOV	(URSS/USSR)
E. CURIEL	(Vénézuéla/Venezuela)
M. VERCON	(Yougoslavie/Yugoslavia)

(\*) jusque juin 1983/until June 1983

(\*\*) depuis juin 1983/since June 1983

---

## AVANT-PROPOS

---

1<sup>re</sup> édition (1984)

Le présent bulletin, élaboré par un groupe de travail du Comité Français des Grands Barrages pour le compte du Comité de l'Hydraulique des Barrages de la CIGB s'appuie essentiellement sur les informations recueillies auprès de divers Comités Nationaux à la suite d'une enquête internationale lancée en 1978.

Nous tenons à remercier les Comités Nationaux des 16 pays dont les renseignements ont contribué à l'élaboration de ce rapport. Afrique du Sud, Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Chine, Espagne, États-Unis, France, Japon, Mexique, Pays-Bas, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande et Zimbabwe ont fourni des informations sur 128 barrages dont les modes d'exploitation sont caractéristiques des pratiques et des tendances constatées dans ces pays. Les renseignements généraux ainsi recueillis ont été complétés par l'expérience des membres du groupe de travail.

Nous exprimons notre gratitude aux organismes énumérés ci-après qui ont bien voulu nous communiquer les renseignements nécessaires à la rédaction des exemples donnés en annexes :

- Department of Water Affairs, Republic of South Africa;
- Iberduero S.A., Spain;
- Compagnie Nationale du Rhône, France;
- Électricité de France;
- Secretaria de Recursos Hidraulicos, Mexico;
- Japanese National Committee on Large Dams;
- Ministry of Construction, Japanese Government;
- Forces Motrices de Mattmark, Switzerland;
- U.S. Bureau of Reclamation.

2<sup>e</sup> édition (1986)

Cette nouvelle édition, revue et corrigée, tient compte de l'expérience acquise depuis la première édition.

---

## FOREWORD

---

1st Edition (1984)

This Bulletin has been prepared by a working group of the French Committee on Large Dams and is a collation and discussion of the data collected by the ICOLD Committee on Hydraulics for Dams by means of an inquiry and questionnaire, launched in 1978.

The response of the 16 National Committees who sent in the information on which this report is based is particularly appreciated and they are thanked for their efforts. In all, the National Committees of Australia, Austria, Belgium, Brazil, China, Czechoslovakia, France, Japan, Mexico, Netherlands, South Africa, Spain, Switzerland, Thailand, United States and Zimbabwe forwarded details on 128 dams whose operation is considered typical of current practice and trends in those countries. Besides this, the report makes use of information available from the experience of the members of the working group.

We should express our gratitude to the above organizations who kindly submitted the information necessary for the examples given in appendices.

2nd Edition (1986)

Further experience acquired since the first edition has been incorporated in this second revised edition.

---

## INTRODUCTION

---

Certains risques inhérents aux barrages sont fréquemment évoqués, alors que d'autres, qui ont été parfois à l'origine d'accidents graves, sont passés sous silence : c'est le cas des risques liés à l'exploitation des ouvrages hydrauliques.

Ces ouvrages présentent en effet les particularités suivantes :

- ils sont souvent complexes;
- leur fonctionnement met en jeu des énergies considérables;
- leur bonne marche doit pouvoir être assurée à tout moment sans aucune défaillance;
- on peut être amené à les utiliser dans des conditions extrêmes, au moment même où la météorologie peut contrarier les interventions du personnel (accès emportés, alimentation en énergie interrompue, télé-transmissions hors service).

Les risques sont généralement passés sous silence car ils relèvent du quotidien et sont plus difficiles à identifier et à circonscrire que les autres.

Pour les éliminer, l'exploitation doit être prévue en détail à l'avance :

- au stade de la conception des ouvrages : il est important de choisir un projeteur expérimenté, capable d'intégrer les conditions futures d'exploitation dans l'établissement du projet;
- au stade de l'exploitation proprement dite : il est essentiel qu'au moment de la mise en service, des consignes claires et complètes soient prêtes et que des structures convenables d'exploitation soient en place; les consignes doivent prévoir toutes les conditions possibles de fonctionnement, sans perdre de vue qu'au moment critique l'exploitant sera entièrement livré à lui-même et devra agir dans un délai très court; de plus, les ouvrages devront être soigneusement entretenus pour être toujours en parfait état de fonctionnement.

Moyennant ces précautions, le maître d'ouvrage du barrage devrait pouvoir faire face efficacement à ses responsabilités.

Le présent Bulletin traite plus spécialement des points suivants :

- Chapitre 1 : Rôle et importance des ouvrages hydrauliques des barrages, et qualités que ces ouvrages doivent présenter pour une bonne exploitation,
- Chapitre 2\* : Rôle du personnel d'exploitation,
- Chapitre 3 : Contrôles et essais des ouvrages hydrauliques des barrages,
- Chapitre 4\* : Exploitation en période de crue,
- Chapitre 5 : Tendances de l'évolution des méthodes d'exploitation des ouvrages hydrauliques,
- Annexes : Exemples d'exploitation de barrages, notamment en période de crue.

(\*) Chacun des chapitres 2 et 4 comporte une première partie traitant des différentes pratiques en vigueur, et une seconde constituant un commentaire de ces pratiques, assorti de recommandations ou de remarques.

---

## INTRODUCTION

---

Some hazards relating to dams are frequent subjects of discussion, while others, which nevertheless may cause serious accidents, are ignored in the literature. Such is the case of operation of hydraulic appurtenances of dams.

For them, hazards stem from the following particulars :

- the structures are often complex;
- they control considerable energies;
- they must function unfailingly whenever necessary,
- they may have to operate under extreme conditions at just those times when bad weather adversely affects access by operating staff, power supplies and data transmission.

Those hazards are generally not mentioned, since they are relating to the every-day operation and are not so easy to be identified and described as some others.

To avert such hazards, the operation of hydraulic structures must be planned in depth and in advance :

- at the design stage : it is important to choose experienced designers for having a skillfull design that does not ignore the conditions under which the appurtenances will operate;
- at the operation stage : it is essential that clear and comprehensive operating instructions are ready at the time the dam is first commissioned and that appropriate management and command arrangements are set up, those operating procedures should cover the full range of the operating conditions, bearing in mind that the staff may be isolated from outside help just at the critical time when prompt action is needed; also, the hydraulic structures must be well maintained in good working order throughout their terms of use.

It is only in this way the dam owner can discharge all his duties.

This Bulletin deals more specifically with the following :

- Chapter 1 : Importance of outlet works for dams and features the operator requires;
- Chapter 2\* : Part of operating personnel;
- Chapter 3 : Inspection and testing of hydraulic appurtenances;
- Chapter 4\* : Operation in flood seasons;
- Chapter 5 : Latest trends in operating practices;
- Appendices : A few specific examples encountered in different countries, with the main emphasis on dam operation in seasons of high river flow.

(\*) Chapters 2 and 4 are both in two parts, the first describing current practices in various countries, and the second being a commentary thereon, with recommendations.

## **1. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DES BARRAGES, LEUR IMPORTANCE, LEURS QUALITÉS SOUHAITABLES POUR L'EXPLOITANT**

Logiquement, le problème de l'exploitation des ouvrages doit être pris en considération dès la conception du barrage. De cette conception peut en effet résulter une exploitation très facile ou inextricable ; trop d'exemples montrent que le deuxième cas peut souvent se produire.

Le projeteur doit donc concevoir les ouvrages avec le souci que l'exploitation future soit absolument sûre, mais aussi que tout soit prévu pour que cette exploitation soit simple et facile, tant pour l'exécution des manoeuvres que pour l'entretien. Ce souci doit se manifester à tous les stades de l'étude, que ce soit lors du choix du projet, lors de la conception des ouvrages hydrauliques eux-mêmes, ou lors de la définition des prescriptions concernant le génie civil, le matériel, les accès, etc...

Par exemple, l'exploitant apprécie au plus haut point de pouvoir disposer d'ouvrages de vidange permettant de vider la retenue. Or, si certains sites ne permettent pas d'aménager facilement de tels ouvrages (retenues de très grands volumes sur des fleuves importants), il existe de nombreux cas où on a pu en regretter l'absence ou déplorer que des ouvrages de vidange soient de trop faible capacité ou mal conçus.

L'exploitant apprécie, de plus, que ces ouvrages de vidange soient largement dimensionnés, permettant facilement le passage de corps étrangers courants.

Outre la vidange de la retenue, de tels ouvrages permettent de rester maître de la cote du plan d'eau au moment du premier remplissage, période délicate entre toutes et d'abaisser le niveau de la retenue en cas de nécessité.

Aux yeux de l'exploitant, le souci de sécurité domine toute la question du fonctionnement des évacuateurs de crues. En effet, même lorsqu'ils ne sont pas utilisés en situation d'exception, ces organes mettent en jeu des énergies et des puissances considérables. Dans ces conditions, sont concernées non seulement la sécurité de l'ouvrage proprement dit, mais aussi celle des riverains de l'aval qui sont exposés directement aux conséquences désastreuses d'un mauvais fonctionnement des ouvrages.

Deux qualités essentielles sont demandées par l'exploitant aux évacuateurs de crues pour lui faciliter la tâche délicate de les utiliser correctement :

La première est la plus grande simplicité possible, d'une part dans la conception et la technologie, d'autre part, dans l'entretien et les interventions ultérieures. La simplicité de conception et de technologie permet la simplification des consignes et il est évident que des consignes simples et rapidement applicables sont un élément déterminant de la sécurité d'exploitation ; de ce point de vue, un évacuateur de crues à seuil libre constitue la solution idéale dont tout exploitant souhaiterait disposer. Même si l'installation fonctionne automatiquement, elle doit être conçue simplement, car on doit pouvoir matériellement la reprendre en exploitation manuelle en cas de panne de l'automate ; (et même dans ces cas, la simplicité est d'autant plus appréciable que le personnel est moins entraîné à manoeuvrer lui-même). Quant à la simplicité d'entretien, elle constitue un facteur important d'un entretien efficace et permet de limiter la durée des indisponibilités des organes à

## 1. DESIRABLE OPERATIONAL FEATURES

Logically, operation of the hydraulic appurtenances must begin, so to speak, on the drawing board, because the design determines whether actual operation will be easy or difficult, and there are too many examples proving that the latter possibility can really happen.

The designer must proceed with an eye to providing absolutely safe operational characteristics, as well as straightforward, easy operation and maintenance. These two features must guide all the steps in the design process; choice of basic type, detail design, incorporation in the main structure, plant and equipment, access, etc.

For example, it is very important for the dam operator to have outlets enabling the reservoir to be drawn down. While bottom outlets do not readily fit into some sites (as with very large reservoirs on very large rivers), there are still many cases where their absence is regrettable or where they are too small or ill designed.

The dam operator also wants large capacity bottom outlets which can easily discharge the common sorts of solid matter.

Besides allowing the reservoir to be emptied in periods of low river flow, bottom outlets can also provide fine control of the reservoir during the most critical period of a dam's life, during the first filling, and draw down the level whenever necessary thereafter.

From the operator's viewpoint, safety is the predominant requirement for spilling provisions. As they are designed to control very substantial amounts of energy and may have only infrequent use, they may affect the safety of the dam itself and the public downstream who would suffer the consequences of inadequate performance.

There are two overriding qualities the dam operator requires of spillways to help in the demanding task of operating them correctly.

The first is simplicity in terms of both design and construction, and in maintenance and repair. Simplicity of design and construction is conducive to simpler operating rules, and simple rules which can be implemented quickly are quite obviously a determining factor in safety. This means that an ungated free-overflow spillway is the ideal solution which all dam operators would prefer. And even if an automatic spillway is used, the design must still be a simple one, since it must be possible in practical terms to revert to manual control if the automatic system breaks down (and even here, simplicity is desirable in that the dam staff will have had less experience in operating the spillway). Simple maintenance is an important factor in ensuring that maintenance work is performed efficiently, and in shortening the time the spillway is withdrawn from service. This is an extremely important consideration on some rivers, especially those subject to flash floods.

entretenir. Ce point est important, notamment lorsque les crues sont capricieuses.

La deuxième qualité, demandée par l'exploitant aux évacuateurs de crues est la robustesse vis-à-vis tant des agressions du temps que des sollicitations auxquelles sont soumis ces ouvrages en raison des conditions de fonctionnement particulièrement sévères. On peut citer à ce sujet quelques erreurs de conception qui ont été les "bêtes noires" de nombreux exploitants : formes hydrauliques conduisant à des érosions rapides, éléments corrodables impossibles à repeindre, charpentes de vannes en treillis léger très exposées à la corrosion et constituant d'excellents pièges pour les corps étrangers, circuits électriques exposés et mal isolés, joints d'étanchéité trop fragiles ...; cette liste n'est pas exhaustive !...

Dans le même ordre d'idées, il est important que les ouvrages soient conçus en vue d'un contrôle et d'une inspection faciles.

Les progrès de la technique dans tous les domaines donnent à l'exploitant de nouveaux moyens dont l'usage se répand peu à peu, principalement sous la forme du développement de la mécanisation de l'automatisation et de la télécommande des ouvrages hydrauliques. On constatera plus loin que cette tendance est le point le plus important des évolutions en cours. On notera dès à présent que, dans ce domaine comme dans les autres, la nécessité d'assurer la sécurité des riverains et des ouvrages confère un caractère particulier à ces automatisations qui doivent être conçues de façon telle que les ouvrages hydrauliques puissent bénéficier d'une garantie de fonctionnement plus assurée que s'il s'agissait de matériel courant.

The second quality the dam operator looks for is plain strong building to make the spillway durable and resistant to the extremely severe conditions under which it operates. Some design errors which have plagued many an operator spring immediately to mind: poor flow conditions causing rapid erosion, corrodable metal parts which are not accessible for repainting, lightweight gate trusses which quickly corrode and efficiently trap floating debris, exposed, poorly insulated electrical circuits, fragile gate seals, and many others.

In the same way, the designer must consider carefully the inspection aspect at the design stage.

Advancing technology in every field is opening the way to new opportunities, the chief one of interest to us being the development of mechanization, automation and remote control for hydraulic structures. It will be seen later that this is the most important trend reported to us. In this field, the need to safeguard the public and the dam from related hazards imposes special requirements on automatic systems which must be designed to ensure that the outlet works will operate with the highest reliability.

## 2. LES MOYENS EN PERSONNEL

Après avoir défini quelques termes employés dans la suite, le présent chapitre donne une description des pratiques adoptées dans l'emploi du personnel et expose deux types particuliers d'organisation.

Les relations entre les types d'organisations rencontrés et la consistance des ouvrages correspondants, ainsi que la comparaison des usages de chacun, permettront de tirer enfin quelques enseignements.

°  
° °

On dira qu'il y a un service de quart sur un ouvrage donné si une ou plusieurs personnes sont en permanence au lieu de travail (24 heures sur 24). Il y a service de quart commun lorsque cette ou ces personnes surveillent en même temps un autre ouvrage que le barrage, par exemple une usine ou d'autres barrages. Le mode d'organisation du service de quart peut recouvrir plusieurs genres de pratiques.

Il y a un service d'astreinte si une ou plusieurs personnes sont au lieu de travail pendant les heures de travail et si elles peuvent être jointes à leur domicile 24 heures sur 24. Il n'y a alors personne à l'ouvrage pendant la nuit, les fins de semaine et les jours fériés. Mais on peut joindre un responsable à toute heure.

### 2.1 Types d'organisation

La situation la plus classique mais aussi la plus contraignante est d'avoir un service de quart permanent sur place et propre au barrage. Ce service peut aussi être commun à plusieurs barrages ou à d'autres ouvrages (usine hydro-électrique par exemple). Il est alors souvent installé à la centrale pour des raisons de commodité d'exploitation. Le service de quart peut ne pas être permanent mais temporaire, par exemple en période de crue seulement. On peut avoir aussi un service d'astreinte assorti ou non d'un quart temporaire ou de renforts si nécessaire.

La plupart du temps, un type d'organisation donné est généralisé sur la majorité des ouvrages d'un pays. Si, par exemple, dans certains pays un service de quart est mis en place à chaque ouvrage (dirigé parfois par un service de quart plus éloigné centralisant et surveillant la bonne marche de toute une série d'aménagements), dans d'autres pays - de plus en plus nombreux semble-t-il - on constate le passage progressif à des services d'astreintes assortis de quarts temporaires en période de crue. La généralisation du service d'astreinte est d'ailleurs pratiquement réalisée dans quelques pays. Ce mode d'exploitation, qui s'accompagne d'une réduction des effectifs, est bien entendu lié à la mise en place de dispositifs automatiques de détection et de signalisation plus ou moins étendus. De façon très générale, cette réduction du nombre d'agents d'exploitation implique une amélioration de la qualification de ces agents.

## 2. STAFFING

After defining some of the more important terms used in this chapter, there follows a review of staffing practices and then a description of two particular types of organization.

Lastly, correlations that can be found between staff organizations and the schemes they attend and comparisons between the different approaches enable a few conclusions to be drawn.

\*  
\*   \*

Firstly, to define terms, a full shift organization involves one or more attendants at their place of work throughout the full 24-hour day. Area shifts will be taken to mean that the attendant or attendants also keep watch on areas other than the dam (eg, powerstation) or several other dams as well.

Partially attended schemes have one or more persons present during working hours and on call at home for the rest of the day. This means that the dam is unattended at night, over weekends and on bank holidays, but the person in charge can be contacted at any time.

### 2.1 Types of Organization

The most usual but also the most burdensome method is to have a three-shift system for each dam. Alternatively, the attendants may also watch over other dams or parts of the scheme such as the hydro-electric powerstation. In this instance they are often stationed in the power house, where premises are more conveniently available. A further possibility is to use an occasional three-shift system, eg, only in periods of high river flow. Partially attended dams may also be allocated occasional full shifts or extra men as necessary.

Most of the dams in a country usually employ the same type of organization. For example, some countries use three shifts for each dam (sometimes run by a full-shift service farther away, centralizing and supervising the operation of a group of schemes), but there would seem to be an increasing number of countries that are gradually moving over to partial attendance with temporary full-shift arrangements in flood seasons. In some countries, in fact, partial attendance appears to be practically the rule; while this reduces staff numbers, it must be accompanied by automatic controls of various degrees of complexity and a higher level of training.

Il est intéressant de décrire deux exemples particuliers d'organisation :

- Premier exemple : Les barrages du bassin de la rivière Ondava en Tchécoslovaquie.

Un service de quart permanent contrôle plusieurs barrages appartenant à un même bassin versant. Des équipes d'intervention rapide sont disponibles pour agir sur n'importe quel ouvrage du bassin en cas de crue (manoeuvres, surveillance, dégrillage, etc ...).

En dehors de ces périodes d'intervention, ce personnel est affecté à l'entretien.

- Deuxième exemple : Les barrages construits sur le Rhône à l'aval de Lyon (France).

12 chutes sont aménagées en série le long d'un même fleuve (puissance hydro-électrique totale 2,2 GW, dénivellation totale 200 m, longueur de fleuve intéressée 300 km). Chaque chute (usine et barrage) comporte un personnel d'astreinte, le plus souvent un cadre et deux surveillants. La conduite des aménagements (y compris l'ouverture et la fermeture des vannes) est assurée automatiquement par des calculateurs. Au centre de la chaîne d'ouvrages est implanté un poste de surveillance où un agent de quart est chargé de contrôler le bon fonctionnement de l'ensemble. Lorsqu'une intervention humaine est nécessaire, le calculateur avertit le personnel d'astreinte sur place (à son domicile par téléphone) et l'agent de quart au poste de surveillance. Le rôle de cet agent se limite alors à vérifier que le personnel d'astreinte a bien été informé. Une telle solution est assez souple et satisfaisante au point de vue de la sécurité.

## 2.2 Remarques

### 2.2.1 Relations entre la consistance des ouvrages et les moyens en personnel d'exploitation

De telles relations ont été recherchées à partir des résultats de l'enquête effectuée dans plusieurs pays.

On doit d'abord remarquer, et cela semble normal, qu'il y a très peu de personnel sur les barrages équipés uniquement d'un déversoir à seuil libre. L'enquête a montré en effet que sur 23 barrages équipés d'un tel déversoir, seulement 5 disposent de personnel de quart, d'astreinte ou affecté à l'entretien.

Le tableau suivant résume les relations entre le type de barrage et l'importance du personnel chargé de l'exploitation des ouvrages.

Il faut regarder avec précaution les chiffres figurant à ce tableau, ainsi que ceux des tableaux des § 4-1-2-2 et 4-1-3-2-c. Ils ont en effet été établis avec une "population" de barrages trop petite pour être représentative de la situation générale des barrages dans le monde. Il est rappelé que ces renseignements proviennent de réponses fournies par 16 pays seulement.

It is instructive to describe two particular types of organization in more detail.

First example - Ondaira river dams, Czechoslovakia

Permanent attendants on three shifts watch several dams within the same catchment area, with teams on standby for rapid action to operate the gates, clear the screens, and so forth, at any of the dams when a flood is expected. These men are allocated to maintenance for the rest of the time.

Second example - Rhône barrages below Lyons, France

This is a cascade of twelve schemes on the same river. The aggregate installed hydro-electric capacity is 2.2GW and the total head is 200m over a 300km stretch. Each barrage and its powerstation is attended in normal working hours, usually with one engineer and two watchmen. These schemes are run automatically by computers, including the opening and closing of the gates. At mid-length in the cascade, there is a monitoring centre with a shift attendant seeing that everything is working properly. If human action is needed, the computer notifies the attendant (at his home by telephone if necessary) and the shift engineer at the monitoring centre. His job is thus reduced to simply checking that the persons on call have been notified. This is a fairly flexible arrangement, and satisfactory from the safety standpoint.

## 2.2 Commentary

### 2.2.1 Relationship between staffing and project features

An attempt was made at correlating the answers to the enquiry to see if there was any discernible correlation between staff organization and the design of the scheme. Firstly, there are few attendants at dams with ungated spillways, as would seem normal. Only five dams out of twenty-three with this type of spillway are permanently or partially attended by maintenance staff.

The following table compares dam types and staffing organization.

The tabulated figures must be approached with caution, like those in the Tables in paras. 4.1.2.2 and 4.1.3.2c, since they are based on a dam population that is too small to be truly representative of the actual situation worldwide. It will be remembered that they refer to questionnaires from 16 countries only.

Type de barrage	Hauteur du barrage	Nombre de barrages avec indication du personnel chargé de l'exploitation
Remblai	< 95 m	10 astreintes 23 quarts
	> 95 m	8 quarts
Voûte et Voûtes Multiples	< 100 m	7 astreintes 6 quarts
	> 100 m	2 astreintes 9 quarts
Poids et Contreforts	< 90 m	4 astreintes 15 quarts
	> 90 m	3 astreintes 5 quarts

On constate qu'en général la proportion de services de quart est d'autant plus importante que le barrage est plus haut. On constate aussi qu'il y a toujours un service de quart pour les barrages en remblai de plus de 95 m de hauteur (du moins pour l'échantillon considéré).

#### 2.2.2 Commentaires

Le problème essentiel concernant le personnel est d'éviter tout retard à l'intervention. De ce point de vue, la méthode la plus employée est de disposer d'un service de quart permanent, présent par exemple dans une usine et contrôlant plusieurs ouvrages, sans que l'on puisse préjuger si c'est l'usine ou le barrage qui nécessite la présence du personnel 24 heures sur 24. On retiendra qu'on maintient un service de quart lorsqu'il y a un nombre suffisamment de manoeuvres à effectuer (soit à l'usine, soit au barrage) pour la justifier.

On discerne d'autre part une tendance caractérisée à l'emploi d'organisation d'astreinte. Cette solution est sans aucun doute sûre et économique à condition de disposer de systèmes d'alarme fiables et se trouve donc étroitement liée à un accroissement du degré d'automatisation des installations.

Par ailleurs, il semble préférable, dans la majorité des cas, d'avoir un personnel de quart pour le barrage en temps de crue, ce qui permet de vérifier le fonctionnement correct de tous les organes d'évacuation. Il est alors commode de décharger ce personnel des tâches de détermination des manoeuvres et des ouvertures de vannes, par un calculateur par exemple. Mais la surveillance du bon fonctionnement des vannes ou du bon écoulement dans un chenal d'évacuation est difficile à prendre en compte par un automate et est grandement facilitée par une surveillance humaine, pour laquelle d'ailleurs un bon niveau technique est requis. Certains exploitants, mais non la majorité, estiment même nécessaire de mettre en place un service de quart dès la "période d'alerte".

On notera également le très grand intérêt de la notion de poste de surveillance de vallée permettant un contrôle continu par un personnel réduit tout en réservant la possibilité de déclencher l'alarme en cas de nécessité en mobilisant un personnel d'astreinte sur place.

Dam Type	Dam Height	Dams with Operating Staff
Embankment	< 95m	10 partially attended 23 full shifts
	> 95m	8 full shifts
Arch and multiple arch	< 100m	7 partially attended 6 full shifts
	> 100m	2 partially attended 9 full shifts
Gravity and buttress	< 90m	4 partially attended 15 full shifts
	> 90m	3 partially attended 5 full shifts

It is noticeable that dams are more likely to be attended round the clock as their height increases. All embankment dams in the sample more than 95 metres high have full shifts.

## .2.2 Discussion

The main problem in staffing policy is to avoid delays in taking action. The most popular method is still to have three full shifts throughout the year stationed in a powerstation to keep watch on several dams, without it being possible to say whether it is the powerstation or the dams which require 24-hour attendance. The important point is that the shift system is used when there are enough operations in the powerstation or at the dams to justify it.

There is a clear trend towards partial attendance, which can be made safe and economical provided that reliable warning systems are employed. It is thus intimately tied up with the trend towards automation.

It would seem preferable in most cases to have a three-shift system for the dam in flood seasons. The men can check that all the outlet works are operating efficiently, and it is useful if a computer for example can relieve them of the task of deciding what gate opening or other action is necessary. It is not easy to provide automatic systems capable of checking that gates operate properly or flow in a discharge channel is unobstructed, and skilled human supervision is a much easier solution. Some (though not most) operators even consider shift working necessary right from the start of critical periods.

One should note the very great advantages of the concept of a monitoring centre for a whole valley where a small staff can keep a continuous watch and alert the other individuals on call whenever necessary.

### 3. CONTROLES ET ESSAIS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

#### 3.1 Contrôles

Il s'agit des contrôles effectués sur les ouvrages proprement dits (barrages, prises d'eau) et pas seulement sur les évacuateurs de crues, vannes, etc ...

On distingue les contrôles effectués par des organismes indépendants de l'exploitant et les contrôles exercés par l'exploitant lui-même.

Le contrôle par des organismes indépendants de l'exploitant est rarement obligatoire légalement. On peut toutefois citer l'exemple d'un pays où l'exploitant doit faire procéder par un service de l'Etat à un contrôle annuel visuel et à une visite décennale des ouvrages immergés pour tous les barrages de plus de 20 m de hauteur.

Imposés par la loi ou non, les contrôles par l'exploitant sont, par contre, généralement très répandus. Les visites ont lieu avec des périodicités de un à trois ans. On citera plus particulièrement le système suivant, généralisé sur certains groupes d'ouvrages :

- visite journalière par le barragiste,
- inspection trois fois l'an par un ingénieur,
- visite tous les deux ans par une commission de sécurité.

Les visites de barragistes sont toutefois, en général, plus espacées.

#### 3.2 Méthodes employées pour le contrôle des parties immergées

Le contrôle des parties immergées n'est pas pratiqué partout, certains exploitants se contentant de visites intérieures du barrage à l'aide de galeries de contrôle.

Dans le cas où on procède à de telles visites des parties immergées, si la retenue n'est pas trop importante, on la vidange. La visite est alors complète et commode, mais il faut accepter une perte d'eau importante.

On utilise aussi des plongeurs (jusqu'à des profondeurs d'une centaine de mètres au maximum). La durée de plongée est limitée. Un système de vidéo permet de conserver les renseignements obtenus.

Pour les barrages mobiles, on utilise des batardeaux qui permettent de mettre à sec les vannes et leurs mécanismes les uns après les autres.

Pour les grandes retenues, on peut utiliser un sous-marin d'observation\*. C'est un moyen qui peut paraître onéreux mais qui présente beaucoup d'avantages :

- pas de perte d'eau,
- deux personnes à bord : un pilote responsable de la plongée et un technicien

\* Voir la communication n° 13 présentée au 11ème Congrès International des Grands Barrages (Madrid, 1973) et intitulée : "Inspection des Grands Barrages par soucoupe plongeante. Opération réalisée sur divers barrages français".

### 3. INSPECTION AND TESTING

#### 3.1 Inspection

The inspections dealt with in this chapter are general dam inspections covering the dam itself, intakes, etc., and not just the spillways, gates, and suchlike.

A distinction is made between inspections by independent bodies and those made by the dam operator's internal organization.

Independent inspection is rarely a legal obligation, although there is an example of a country where the operator must have dams more than 20m high visually inspected by a government agency every year plus a 10-year inspection of the parts under water.

Whether or not legally required, inspection by the operator on the other hand is very widespread, at intervals of one to three years. A widespread arrangement for some groups of dams consists of a daily round by the dam attendant, inspection three times a year by an engineer, and inspection every other year by a safety board, although in general, the attendants' inspections are less closely spaced.

#### 3.2 Methods for Inspecting Parts Under Water

Not every country inspects the underwater parts of dams, some being content to confine themselves to the dam galleries only.

Otherwise, the reservoir can be emptied if it is not too large, enabling a full inspection to be made conveniently, although at the cost of considerable wastage of water.

Divers can be used down to about 100 metres. They can only spend a limited amount of time under water, but video provides a hard record.

Stoplogs are used on barrages to unwater the gates and operating mechanisms in turn.

At larger reservoirs, a submarine\* may be used. While this may seem an expensive answer, it has many advantages:

- (a) water is not wasted;
- (b) the submarine can carry two persons, the diving master and a

\* See Report No. 13 to the 11th ICOLD Congress in Madrid entitled Inspection des grands barrages par soucoupe plongeante. Opérations réalisées sur divers barrages français.

non spécialiste de la plongée sous-marine et donc libéré de tout souci pour pouvoir se consacrer à la visite :

- .prise de films dans des conditions relativement bonnes,
- .observations des ouvrages dans leurs conditions normales de charge,
- .accessibilité de la plupart des points du barrage quel que soit le niveau de la retenue.

Les conditions de visibilité ne sont pas toujours satisfaisantes et, bien entendu, il faut éviter de soutirer de l'eau lors de la visite, ce qui ne constitue qu'un inconvénient mineur pour l'exploitation. Les exploitants et les organismes qui utilisent un tel sous-marin d'observation sont en général très satisfaits de cette méthode.

En conclusion, la technologie moderne permet désormais de visiter les ouvrages immergés moyennant un prix acceptable ; on notera en particulier, les possibilités offertes par les sous-marins d'observation non habités et télécommandés. On ne peut que recommander aux exploitants de profiter de ces possibilités pour procéder à la surveillance des parties immergées des barrages. La périodicité de tels contrôles peut être relativement longue, de l'ordre de dix ans.

L'inspection des bassins de dissipation des évacuateurs de crue pose un problème particulier. Dans certains cas de fonctionnement fréquent, il est bon que ces inspections ne soient pas trop espacées : certains exploitants font des visites annuelles. Il peut alors être justifié (si le parc d'ouvrages est important) que l'exploitant dispose de ses propres équipes de plongeurs et de son propre matériel, lequel est alors conçu de façon spécifique à cet usage.

En cas de vidange de ces bassins en vue de leur inspection, il convient de prendre les précautions nécessaires vis à vis des sous-pressions.

### 3.3 Essais des organes de vidange

Certains ouvrages ne comportent pas de tels organes (par exemple les très grandes retenues qu'il est impensable de vider). Dans la plupart des cas, il semble toutefois judicieux d'en installer car la présence d'un organe de vidange est un facteur très important de sécurité dans le cas où un abaissement rapide du plan d'eau s'avère nécessaire. En particulier, l'ouvrage de vidange permet un bon contrôle du niveau du plan d'eau lors du premier remplissage, même s'il ne procure pas une sécurité absolue.

Quand ces organes de vidanges existent, les essais sont souvent effectués régulièrement avec une périodicité inférieure ou égale à l'année.

Il semble recommandable d'effectuer des essais périodiques sous la charge totale et avec l'ouverture maximale compatible avec ce qui peut être supporté sans inconvénient à l'aval. Le principal avantage de cette manière de faire est de familiariser l'exploitant avec une telle manoeuvre qu'il pourra ensuite effectuer sans réticence le jour où elle s'avèrerait nécessaire pour la sécurité de l'ouvrage (abaissement du plan d'eau).

Les exploitants craignent souvent la production de vibrations lors du fonctionnement des organes de vidange et le risque de ne pas pouvoir refermer les vannes après leur ouverture ; en fait, l'expérience montre qu'un matériel bien conçu et bien construit donne toute satisfaction à cet égard.

### 3.4 Exploitation et entretien des ouvrages de vidange

Dans le cas très fréquent où l'organe de vidange possède deux vannes en série, l'obturation en période normale peut être assurée, soit par la vanne amont, soit par la vanne aval, soit par les deux vannes. Les trois pratiques se rencontrent chez divers exploitants.

dam specialist who needs to know nothing about underwater diving and so has his mind free for the inspection:

- . film can be shot under relatively good conditions;
- . the dam can be observed under normal conditions of load;
- . and most parts of the dam are accessible, regardless of depth.

Visibility is not always adequate, and of course nearby outlets must be closed during the inspection, but this is a minor nuisance. Both the dam operators and the inspections are generally very satisfied with this method.

Modern technology in fact makes it possible to inspect submerged parts of the works at an acceptable cost, one of the possibilities being remotely controlled diving machines carrying cameras. Dam operators are strongly recommended to make use of these new methods. Inspections can be spaced quite widely apart, in the region of every ten years.

Stilling basins are a rather different problem. If spilling is frequent, inspections should not be too far apart, some operators making it a yearly occurrence. If there are enough dams on inventory, the operator may be justified in maintaining his own team of divers and specially designed equipment for this job.

If stilling basins are emptied for inspection, suitable precautions must be taken against uplift pressures.

### 3.3 Operational Tests of Bottom Outlets

Some dams have no low-level outlets, for example where it would be unthinkable ever to empty a very large reservoir. But they would seem a wise safety precaution in most cases, since they enable the reservoir to be lowered if it becomes suddenly necessary. Even if they are not a complete guarantee of safety, bottom outlets provide good control of headwater level during the first filling.

Many operators regularly exercise bottom outlets, at periods of a year or less.

It would seem desirable to make these periodic tests under the full head, and open the gates as wide as is compatible with the flow that can be discharged downstream without inconvenience. The main advantage is that this familiarizes the staff with gate operation and removes the uncertainty that they might feel on the day when they must draw down the reservoir to protect the dam.

Fear of vibration during closure of the gates is very widespread among operators, but experience shows that equipment can now be built with very satisfactory performance in this respect. It is a question of good design and construction.

### 3.4 Operation and Maintenance of Bottom Outlets

In the very frequent arrangement where the bottom outlet has two gates, one behind the other, it can be controlled under normal conditions by closing the upstream and/or downstream gate. There are three policies among operators.

La meilleure solution est de maintenir la vanne aval fermée et la vanne amont ouverte en exploitation normale. Cette manière de procéder permet de faire très peu travailler la vanne amont et de pouvoir en disposer pour exécuter les travaux d'entretien sur la vanne aval. Par ailleurs, il est avantageux de maintenir en eau le conduit de vidange. Lorsqu'il s'agit, comme c'est le cas le plus souvent, d'un blindage métallique bloqué au béton, le fait d'être en charge le soustrait aux pressions extérieures et limite les circulations d'eau extérieures à son contact.

Les difficultés d'intervention sur de tels ouvrages, ainsi que la gravité des conséquences d'un éventuel incident de fonctionnement doivent conduire l'exploitant à exiger de ses constructeurs des organes particulièrement robustes et construits avec des matériaux inaltérables. En particulier, les dimensions des organes de vidange doivent être largement calculées, pour ce qui concerne tant leur résistance mécanique que leurs conditions de fonctionnement hydraulique; les sections de passage de l'écoulement doivent être suffisantes pour éviter les obstructions. C'est ainsi qu'une section minimale de l'ordre de 3 m<sup>2</sup> évite l'obstruction par la plupart des corps étrangers, sauf conditions exceptionnelles.

Pour diminuer les risques d'obstruction de tels pertuis largement dimensionnés, il y a intérêt à ne pas y installer de grille à moins de les équiper d'un dégrilleur.

### 3.5 Essais des évacuateurs de crue

De tels essais sont effectués la plupart du temps, mais leur périodicité est très variable suivant les ouvrages et les exploitants. Ils ne sont pratiquement jamais effectués avec l'ouverture totale des vannes, car ces ouvrages sont susceptibles d'évacuer des débits importants et leur essai à pleine ouverture entraînerait des crues artificielles et des pertes d'eau importantes. Les exploitants profitent généralement d'une époque où le niveau de la retenue est suffisamment bas pour pouvoir faire fonctionner les vannes de surface jusqu'en fin de course en évitant toute perte d'eau. On peut aussi parfois batardeur les vannes l'une après l'autre et les ouvrir à sec. Bien que ce dernier essai ne soit pas entièrement significatif, le début de manoeuvre peut être exécuté sous la charge totale exercée par l'eau emmagasinée entre vanne et batardeau.

De tels essais ne sont pas effectués en charge et ne constituent donc pas une épreuve complète.

En fait, les raisons qui conduisent à limiter les essais des évacuateurs de crues sont de deux ordres : hydraulique et mécanique.

Les raisons de caractère hydraulique sont doubles :

a/ danger de crues artificielles surtout sensibles dans les zones à forte densité démographique

b/ pertes d'eau surtout sensibles dans les pays de climat aride.

Les raisons d'ordre mécanique sont essentiellement les difficultés d'étanchement à la fermeture des vannes. En fait, il est probable que cette raison est, bien plus souvent qu'il n'y paraît, présente dans l'esprit des exploitants. Elle est inavouée mais importante. La même raison existe également pour les essais des organes de vidange. Un matériel bien conçu et un entretien régulier et sérieux doivent faire disparaître cette crainte. On doit remarquer d'ailleurs que les manoeuvres à sec, si elles évitent des pertes d'eau, causent parfois des dommages à certains dispositifs d'étanchéité.

The best approach is to keep the second (downstream) gate closed and the upstream gate open under normal conditions. This means that the upstream gate is not often subject to wear and so is always available for carrying out maintenance work on the downstream gate. Another point is that there are advantages in keeping the sluice full of water when it is lined with steel working in compression against the surrounding concrete, as is usually the case. Maintaining the inside pressure protects it against inwardly-acting pressures and keeps down leakage between the steel and concrete.

The difficulties of working on bottom outlets and the seriousness of the consequences of any malfunction mean that the dam operator must demand very robust construction with corrosion-resistant materials. A conservative margin must be included in the sizes of all parts for strength and in the dimensions of the flow path to prevent debris jamming in the opening. An unobstructed passage of  $3\text{m}^2$  will usually circumvent any problem in this respect.

Provided the sluice is large enough, it is best not to fit bottom outlets with screens which may become blocked, unless a cleaning machine is also provided.

### 3.5 Spillway Tests

Spillway tests are usually prescribed but the intervals between them vary greatly at different dams and with different operators. The spillway gates are almost never opened completely because they are designed to release large amounts of water and any test to full opening would create an artificial river flood downstream and waste considerable water. Operators wait for a period of low reservoir level to open the gates fully, without losing water. Another way is to place stoplogs in front of the gates in turn, and open them in the dry; this does at least test their capacity to start opening under maximum load from the water trapped behind the stoplogs.

The fact that there is no pressure on the gates during such trials means that they are not really representative.

There are two limiting factors on spillway gate testing that can be termed "hydraulic".

- a) there is a danger of creating artificial river floods, especially in densely populated areas, and
- b) there is a wastage of water to which arid countries are the most sensitive.

There are also "mechanical" factors, eg, where testing the spillway gates causes difficulties in remaking the seal when they are closed again. In fact, this is probably in operators' minds more often than it would appear, a suppressed but nevertheless important reaction, and it also applies to the testing of bottom outlets. Properly designed, regularly and competently maintained gate plant must overcome this fear. It should be noted that while tests in the dry save water, they sometimes damage seals.

Les évacuateurs de crues, comme les organes de vidange, sont des ouvrages de sécurité qui doivent fonctionner normalement à une fraction de leur capacité. Leur fonctionnement dans des conditions proches de la capacité maximale ne se produit qu'à l'occasion d'une grosse crue correspondant à une faible fréquence et provoquant normalement de gros dégâts à l'aval, ce qui implique que les exploitants soient bien préparés pour résister aux influences extérieures inhérentes à une telle situation d'urgence. Dans cette perspective, les essais systématiques sont de nature à donner confiance aux exploitants.

As was said in connection with bottom outlets, spillways are important for safety, and must be capable of operating efficiently at only a fraction of their total capacity. Operation close to full capacity only occurs in the event of a very large flood of remote probability and usually results in very considerable damage downstream, so that operators must be prepared to withstand the external pressures on them in such an emergency situation. Regular gate tests help prepare them for this task.

## 4. EXPLOITATION EN PÉRIODE DE CRUE

En raison de la très grande diversité des méthodes et moyens utilisés pour assurer l'exploitation en période de crue, il est difficile de donner ici une présentation à la fois précise et complète des renseignements fournis par les différents pays consultés. Pour tenter de clarifier la question on présentera successivement les points suivants :

Un premier sous-chapitre exposera, d'une part, les définitions rencontrées d'un état de veille ou de crue, d'autre part, les différents types de consigne utilisés, leurs objectifs, leurs moyens de mise en application, mais aussi les difficultés rencontrées dans cette application.

Un second sous-chapitre résumera les remarques, enseignements ou recommandations susceptibles d'être déduits des renseignements précédemment exposés.

En remarque préliminaire, on notera que l'exploitation des évacuateurs de crues est particulièrement délicate. Comparés aux autres ouvrages hydrauliques et à la plupart des matériels industriels courants, les évacuateurs de crues possèdent deux propriétés spécifiques qui rendent leur exploitation plus difficile : d'une part, on ne peut pas procéder à des essais préalablement à leur fonctionnement et, d'autre part, ces organes n'ont aucune "position de sécurité" vers laquelle on pourrait se réfugier en cas d'anomalie de fonctionnement (ni la position fermée, ni la position ouverte, ni le maintien en l'état ne peuvent jouer ce rôle de position de sécurité). Des consignes précises sont donc nécessaires, afin de prévoir toutes les situations possibles.

### 4.1 Pratiques en vigueur

#### 4.1.1 "Etat de veille" et "état de crue"

On peut définir assez facilement l'entrée en "état de crue" comme étant le moment à partir duquel les premières manoeuvres prévues par la consigne doivent être effectuées. Mais la plupart du temps les consignes envisagent aussi un "état de veille".

En fait, ces deux situations sont interprétées de façons très différentes dans les divers cas rencontrés. Certains font commencer l'état de veille à la constatation de fortes pluies sur le bassin versant de la retenue. D'autres considèrent un débit entrant limite ou un niveau limite dans la retenue ou un niveau fixé de précipitations pendant un temps donné.

"L'état de crue" est décrété la plupart du temps à partir d'un débit entrant (ou parfois d'un débit déversé) préalablement fixé. D'autres fois, on entre en état de crue quand le niveau de la retenue dépasse une certaine cote.

Quatre exemples particuliers illustrent cette diversité :

- Exemple 1 : Sur un ouvrage, trois niveaux d'alarme sont définis, le premier entraînant une présence humaine au barrage.
- Exemple 2 : l'état de crue peut être défini à partir d'un certain débit entrant et il existe un état d'alerte plus grave défini par la conduite suivante : "état de crue à réservoir plein".

## 4. OPERATION IN FLOOD SEASONS

Because of the very great diversity of operational methods and systems for routing floods, it is difficult to report answers to the enquiry concisely. In an attempt to clarify matters, we first examine, in a first section, the different ways the concepts of standby and flood procedures are understood.

We shall then address flood warning methods and the information used for this purpose, and then look at the objectives of gate operation, ie, the situation the flood rules seek to produce. Next the various methods of gate operation will be described, with an attempt to classify them. We shall conclude with a description of how the gates are actually operated, and the few problems associated with proper implementation of the flood rules.

The second section briefly states the few lessons and recommendations that we have attempted to draw from this information.

Before proceeding, it must be remarked that spillway operation is a very arduous issue. Compared with other hydraulic works, spillways have two specific aspects which can trouble operators. Firstly, there is no way of providing a full-scale test before occurrence of the real flood event. Second, there is no rule of thumb which may be followed while a flood persists. Flood operating procedures must give precise rules in all possible situations.

### 4.1. Current Practice

#### 4.1.1. Standby and flood procedure periods

The moment at which the flood procedure must be brought into operation can be defined quite easily, as being the start of the period when the first gate operation required under the flood rules must be performed. But a standby period is also usually stipulated.

These two situations are understood differently in different cases. For some operators, standby begins when heavy rains are recorded over the reservoir catchment. Others set an inflow or reservoir level thresholds, or a given amount of precipitation over a given period of time.

A flood is usually taken as commencing when inflow (or spillage) reaches a set level. Or reservoir level may be the set value.

Four examples from specific dams illustrate this diversity :

- Example 1 : Three levels of alert, the first requiring men to be present at the dam.
- Example 2 : Flood defined on the basis of a set inflow into the reservoir, but there is a more serious level of alert when a flood so defined enters the reservoir when it is already full.

- Exemple 3 : l'état de veille est défini par le franchissement d'une "courbe d'alerte" en fonction du niveau et du débit entrant. On essaye alors de turbiner le surplus de débit entrant. Si cela ne suffit pas pour passer en deçà de la "courbe d'alerte", le surveillant d'astreinte se rend sur le barrage et l'état de crue est décrété.
- Exemple 4 : enfin, pour certains ouvrages, les états de veille ou de crue sont définis pour l'ensemble d'un bassin versant et non pour un ouvrage isolé.

Pour clarifier et tenter de définir une terminologie fondée sur des notions concrètes utiles à l'exploitant, nous définirons :

- un "état de veille" pendant lequel on n'est plus en exploitation courante et on devra, en application d'une consigne particulière, contrôler l'évolution de certains paramètres (niveaux, débits...). "L'état de veille" pourra être déclenché par le personnel d'exploitation de routine, s'il existe, ou par un automate.
- un "état de crue" pendant lequel des manoeuvres sont exécutées (ouverture ou fermeture des vannes).

On notera que la distinction entre "état de routine", "état de veille" et "état de crue" dépend, pour un barrage donné, de la manière dont est conçue l'exploitation, notamment de son degré d'automatisme.

En particulier, pour une exploitation de type que nous appellerons "intégré", il n'y a pas de limite franche entre ces différents états. C'est le cas, par exemple si l'évacuateur de crues est un déversoir à seuil libre ou un déversoir équipé d'une vanne entièrement automatique, ou si l'exploitation (y compris l'ouverture des vannes) est entièrement conduite par un calculateur.

Quand la surveillance des paramètres à contrôler est assurée par un automate, l'état de veille ne se différencie guère de l'état de routine. Nous maintiendrons néanmoins cette distinction car elle est adoptée par la majorité des exploitants.

On examinera plus loin l'influence de l'importance de la retenue sur les consignes de crues. On peut cependant observer dès maintenant qu'un aménagement entre d'autant plus tôt en "état de veille" et en "état de crue" que le volume de la retenue est plus petit vis-à-vis du volume des crues.

Nota :

Nous définissons ici les notations que nous emploierons dans la suite du texte :

- Niveau de la retenue en amont du barrage : N
- Vitesse de variation du niveau de la retenue :  $\frac{dN}{dt}$
- Débit : Q
- Vitesse de variation du débit :  $\frac{dQ}{dt}$

- Example 3 : Standby commences when an alert curve (level versus inflow) is reached. The surplus inflow is discharged through the turbines, but if this is not enough to bring flow down below the alert curve, the attendant on call goes to the dam and a flood is considered to have commenced.
- Example 4 : Standby and flood periods defined for the whole catchment, rather than for each individual dam.

To clarify the debate and arrive at a terminology that is directly relevant to the operator's needs, we shall use the following definitions:

- . Standby period during which routine operation is suspended and special rules are followed to control certain parameters (water levels, flow rates, etc.). Either the routine operating staff (if any) or an automatic system can give the signal to start the standby period.
- . Flood period is the period during which the gates are operated.

It must be remembered that the distinction between routine operation, standby and flood period depends on the manner in which each dam is operated, including the amount of automatic control applied.

For what we shall call "integrated" operation, there is no clear demarcation between these three conditions. This is the case for example if the spillway is an ungated overflow type or has fully automatic gates, or if the dam (including the gates) is run entirely by computer.

If the parameters are automatically monitored, standby is hardly different from routine operation. The distinction must nevertheless be made, since it is used by most operators.

The effect of reservoir size on flood regulation will be dealt with later, but it can be remarked at this point that standby and flood rules are implemented earlier when the storage capacity is small as compared with river floods.

The notation used in the rest of this chapter is defined as follows :

- Reservoir level N
- Rate of change in reservoir level  $dN/dt$
- Flow Q
- Rate of increase in flow  $dQ/dt$

#### 4.1.2 Mise en "état de veille"

##### 4.1.2.1 Types de situations rencontrées

On est amené à distinguer quatre types de situation en ce qui concerne la mise en "état de veille" à l'arrivée d'une crue.

a) Pour les ouvrages équipés de déversoirs à seuils libres où l'intervention humaine n'est pas nécessaire, il n'y a pas d'"état de veille" à proprement parler, sauf dans certains cas où une alerte est déclenchée par des moyens automatiques ou manuels en vue d'avertir le personnel d'un prochain déversement.

b) La crue peut être annoncée par du personnel recueillant des informations, par exemple par la lecture de niveaux ou de débits. Les informations peuvent aussi être transmises à distance, le personnel disposant alors de télémesures. Les limniphones (limnigraphes enregistreurs qu'on peut consulter par téléphone) en sont un bon exemple. On voit apparaître maintenant des systèmes entièrement automatiques directement raccordés à des postes d'acquisition et à des calculateurs, dont les performances sont évidemment supérieures. Ces systèmes trouvent leur pleine utilité lorsque l'exploitation est gérée automatiquement (ci-après paragraphe d).

Dans le cas présent de mise en état de veille à l'initiative du personnel, la constatation de précipitations importantes peut être le critère déterminant.

c) Un dispositif automatique peut déclencher l'"état de veille" en fonction d'un ou plusieurs paramètres. Le niveau et/ou sa variation sont utilisés le plus souvent. Ces dispositifs peuvent être très simples et donc fiables ; ils sont souvent employés en redondance avec la méthode précédente. Il existe ainsi souvent une alarme donnée par du personnel, assortie d'une alarme automatique. Parfois il n'existe qu'une alarme automatique ; il faut alors veiller à l'entretien régulier du dispositif pour en assurer le bon fonctionnement et la fiabilité.

d) Il existe enfin des ouvrages dont l'exploitation est gérée automatiquement par un ordinateur. Il n'y a donc pas "état de veille" à proprement parler en dehors du fait que l'information du personnel de surveillance est assurée (voir remarque ci-dessus).

Notons pour terminer que la mise en "état de veille" doit être d'autant plus précoce que la capacité de la retenue est plus faible par rapport au volume de la crue.

#### 4.1.2 Standby

##### 4.1.2.1 Different types of situations

One can distinguish four types of situations as far as standby for the arrival of a flood is concerned .

a) The first concerns dams with ungated overflow spillways requiring no human action. There is no standby period proper, except in certain cases where a warning signal is given either automatically or manually to let the personnel know that spilling is imminent.

b) Warning of the flood may be given by the personnel collecting information. This may be done by taking readings of levels or flow rates at the dam or the information can be telemetered. Water level recorders which can be interrogated by telephone are a good example. We now have fully automatic systems connected directly to monitors and computers whose performance is obviously much superior. Such systems develop their full potential with fully automated dams (para.d) below).

If it is a human decision which initiates the standby condition, heavy precipitation may be a determining factor.

c) There may be an automatic system signalling the start of a standby period on the basis of one or more parameters. Water level and/or water level rate-of-change are most often used. The devices employed may be very simple and thereby reliable. They are often used in parallel with method b), the alarm being given by the personnel backed up by an automatic alarm system. Otherwise, an automatic alarm may be used alone, but the system must be regularly serviced to ensure proper operation and dependability.

d) Lastly, there are schemes run automatically by computer. There is no standby period properly so-called, except insofar as the supervisory staff are kept informed of the situation (see remark above).

We shall end with the remark that standby must be implemented earlier when reservoir capacity is small in comparison with the volume of flood inflow.

#### 4.1.2.2 Critères utilisés pour la mise en "état de veille"

Sur la base des enseignements fournis par l'enquête et qui portent sur 120 ouvrages, le tableau ci-dessous donne la liste des critères utilisés pour déclencher l'"état de veille" et, pour chacun d'eux, le nombre de barrages pour lequel ce critère est utilisé.

Critère utilisé	Nombre de barrages
- Précipitations .....	63
- Vitesse de variation du niveau de la retenue $\frac{dN}{dt}$ .....	57
- Niveau de la retenue N .....	47
- Débit lâché par l'évacuateur de crues .	46
- Débit mesuré à des jaugeages amont ....	43
- Débit mesuré à l'entrée de la retenue .	40
- Vitesse de variation du débit .....	33
- Niveau en plusieurs points amont .....	31
- Débit mesuré à des barrages amont ....	28
- Débit soutiré autrement que par l'évacuateur de crues .....	27
- Niveau aval .....	24

On constate qu'en moyenne 3 à 4 critères sont utilisés pour la mise en "état de veille".

Malgré cette diversité, la plupart de ces critères ne servent en définitive qu'à déterminer le débit entrant dans la retenue qui est le paramètre fondamental utilisé pour l'alerte. On peut le déterminer de plusieurs façons, utilisées séparément ou simultanément :

a/ La vitesse de variation du niveau de la retenue  $\frac{dN}{dt}$  est utilisée très souvent. La précision et par conséquent l'efficacité de ce paramètre varient suivant l'importance de la retenue. Pour une grande retenue, la variation du niveau est faible dans le temps et la mesure de  $\frac{dN}{dt}$  est imprécise (remous dûs aux vagues, au vent, etc...) Toutefois cet inconvénient est diminué par le fait qu'une grande retenue peut s'accommoder d'une certaine imprécision en raison de l'importance du volume de la tranche de la retenue correspondant à une variation donnée de son niveau. Au contraire, pour une petite retenue et des débits importants, on mesure  $\frac{dN}{dt}$  avec précision, mais il existe un certain délai pour apprécier le  $dN$ , d'où un risque de retard dans l'exécution des manoeuvres.

b/ Le débit lâché par un ou plusieurs barrages situés à l'amont est un critère d'autant plus précis que ce ou ces barrages sont plus proches car il y a alors peu d'apports du bassin versant intermédiaire, mais à l'inverse le délai d'exécution des manoeuvres est d'autant plus réduit.

c/ Station de jaugeage à l'amont : Dans toute la mesure du possible, elle doit être implantée à l'amont immédiat de la retenue. On connaît à cet endroit la loi ( $N \leftrightarrow Q$ ) et le débit est obtenu avec une bonne précision. Toutefois, des difficultés peuvent résulter de l'existence de nombreux affluents débouchant directement dans la retenue. Par ailleurs, les moyens de transmission doivent être fiables. Remarquons enfin que certains exploitants apportent une correction à la loi Niveau-Débit de la station de jaugeage en fonction de la raideur du front d'onde (voir paragraphe 4.1.4.1 ci-après).

#### 4.1.2.2 Standby criteria

From the answers to the enquiry, covering 120 schemes, the number of dams where each of the listed parameters is used to determine the start of the standby period is as follows:

Factors	Number of Dams
- Precipitation .....	63
- Reservoir level rate-of-change ...	57
- Reservoir level .....	47
- Spillway discharge .....	46
- Measured streamflow upstream .....	43
- Measured streamflow into reservoir	40
- Rate-of-change in streamflow .....	33
- Water levels at points upstream ..	31
- Flow at upstream dams .....	28
- Discharge other than through spillway .....	27
- Tailwater level .....	24

From this it can be seen that a set of three or four factors is used on average for putting the dam on standby.

It must be recognized that, despite the variety of parameters listed, many in fact only serve to determine the rate of inflow into the reservoir, which is the fundamental alert parameter. It can be determined in various ways, used separately or together.

(a) Rate of reservoir rise ( $dN/dt$ ) is in very widespread use, although accuracy and efficacy vary with reservoir size. With large reservoirs, the rate-of-change is slow and cannot be accurately measured because of waves, wind effects and so on, but this drawback is attenuated by the fact that a large reservoir can accommodate some degree of imprecision because of the large extra capacity that becomes available with each incremental rise. For a small reservoir with large streamflows, on the other hand,  $dN/dt$  can be accurately determined, but there is some time lag in assessing  $dN$ , with the attendant danger of gate operations being delayed.

(b) Outflow from dams upstream is a precise factor if they are not too distant (so that there is not too much intermediate runoff). On the other hand, there will not be so much warning for gate operation.

(c) Streamgauging stations upstream should preferably be close to the reservoir tail. At this point, the relationship ( $N \leftrightarrow Q$ ) and the streamflow data so derived are precise, even more so than the estimates of flow through a spillway. Difficulties arise if there are many tributaries flowing into the reservoir. In addition, the data transmission links must be reliable. Certain operators apply a corrector factor to the gauging station rating curve based on the steepness of the wave front (see 4.1.4.1 below).

d/ Stations de jaugeage amont plus éloignées : Pour déduire le débit entrant des informations données par ces stations, la principale difficulté, outre l'estimation des apports du bassin versant intermédiaire, est la prise en compte des temps de transit de la crue entre les stations de mesures et la retenue. A l'expérience, la meilleure solution consiste à établir une corrélation (statistique le plus souvent), s'assurer de la valeur de cette corrélation et résoudre les problèmes de transmission de l'information. On obtient des résultats valables si le système est bien étudié; le gros avantage est l'anticipation des prévisions du débit entrant.

e/ Données météorologiques : La précision des prévisions de "débits entrants" à partir de mesures météorologiques est évidemment modeste, mais dans bien des cas suffisante pour contribuer efficacement à la décision de mise en état de veille. Certains exploitants font même appel aux prévisions météorologiques pour prendre cette décision. A tout le moins, de telles précisions sont utiles pour la préparer.

Un cas d'utilisation de données météorologiques est constitué par les modèles pluviométriques qui sont parfois utilisés et qui font appel à des stations pluviographiques. Un tel dispositif est bien adapté à un bassin versant important équipé d'un grand nombre de barrages, qui justifie la mise sur pied de l'infrastructure correspondante. Nous illustrerons ce cas par deux exemples tirés des réponses reçues :

- 1er Exemple : (Barrage du Vaal en Afrique du Sud)

La retenue a une capacité de 2 331 hm<sup>3</sup> drainant un bassin versant de 38 500 km<sup>2</sup>. Les précipitations (740 mm par an) sont dues pour la plus grande part à des orages d'été.

Un modèle hydro-météorologique statistique a été élaboré donnant le débit de pointe, et ceci journellement (et même éventuellement toutes les heures) à partir d'informations sur les pluies sur le bassin versant et le degré de sécheresse de la région (coefficient d'infiltration). Le modèle a été étalonné sur 62 crues passées et le calculateur peut ainsi fournir les prévisions et déterminer en conséquence les manoeuvres à effectuer. De très nombreux paramètres sont pris en compte. Toutefois, les lois statistiques utilisées reposent sur deux ou trois paramètres, les autres étant pris en compte seulement pour corriger les résultats.

Il serait trop long d'exposer le détail de la méthode employée, mais on peut toutefois donner quelques indications sur les éléments utilisés. La notion "d'orage" est définie par un niveau donné de pluies. Cette période d'orage définit en quelque sorte un état de veille. On mesure les pluies tombées à 12 stations, le débit entrant au début de l'orage, la durée, la position et le déplacement de l'orage, ... On tient compte également de la saison (importance de la végétation qui freine le ruissellement) et du degré de sécheresse de la région (pluies passées). Ce dernier élément qui prend en compte l'infiltration est certainement très important pour la qualité du résultat final mais est très difficile à déterminer. Les utilisateurs semblent satisfaits de ce modèle qui améliore leurs informations et leur permet de "gérer" la crue en diminuant notablement l'intensité de la pointe. Toutefois, une telle étude n'est valable que dans ce cas précis. Les intéressés estiment que le coût d'élaboration et d'exploitation (par calculateur) d'un tel modèle est relativement élevé mais qu'il est facilement rentabilisé par la réduction des inondations en aval. Un important complexe urbain et industriel existe en effet à l'aval du barrage et les dommages résultant des inondations étaient très importants avant la mise en oeuvre du modèle.

(d) With more remote upstream gauging stations, the main difficulty besides estimating runoff from the intermediate catchment area, is allowing for the time it takes the flood to reach the reservoir after it has been detected. Experience shows the best strategy to be a (usually statistical) correlation. The correlation must be reliable, and questions of data transmission must be overcome. Results are valid if the system is properly designed and the really major advantage is that inflow can be predicted well in advance.

(e) Meteorological data can obviously yield only an imprecise estimate of inflow, although often accurate enough to decide to put the dam on standby. Some operators base this decision on weather forecasts; such information is in any event significant enough to make preparations for standby.

One case of this system is the rainfall model in which rainfall stations are substituted for streamgauging stations, suitable for large catchments controlled by enough dams to warrant the cost of setting up the system. This can be illustrated with two examples drawn from the replies received:

- The first example (Vaal dam, RSA) is a reservoir with a capacity of 2 331 hm<sup>3</sup> for a catchment of 38 500 km<sup>2</sup>, with precipitation (740mm per year) occurring mostly in summer storms.

A hydrometeorological statistical model has been built giving daily values (and even hourly values) of the flood peak, flood volume and time to flood peak from input data on rainfall over the catchment and the antecedent dryness of the region (infiltration coefficient). The model was calibrated against 62 past floods and enables the computer to predict the gate operations required. A very large number of parameters is used, but the statistical relationships are based on two or three only, the others only being included for corrections.

It would take too long to describe the method, but a few of the basic features can be briefly mentioned. A storm is defined by a given amount of rain. This storm is more or less equivalent to the standby period described above. Rainfall is measured at twelve stations, while other measurements include inflow into the reservoir at the start of the storm, storm duration, position and direction, etc. The season is also included (as determining the amount of vegetation retarding overland runoff) together with the dryness of the region (which depends on antecedent rainfall). This last factor, which concerns the infiltration of the rain into the ground, is undoubtedly highly important for the accuracy of the final results but extremely difficult to determine. Nevertheless the operators seem satisfied with this model which, by improving their information, enables them to control the floods by considerably reducing the peak. However, such a comprehensive model is only considered valid for this specific case. According to the engineers involved, it is expensive to develop and run (computer) but is a viable proposition for the particular dam in question because there is a large urban and industrial complex below the dam, where flood damage used to be very serious before the system was introduced.

2ème exemple (barrage Takase au Japon) :

Le barrage est construit dans une zone très montagneuse ; le bassin versant a une superficie de 150 km<sup>2</sup>, les précipitations moyennes sont de 2 500 mm par an, et la retenue a une capacité de 110 hm<sup>3</sup>. Les débits de crues sont estimés à l'avance par une méthode dans laquelle les pluies sont prévues en utilisant des données météorologiques, et les précipitations réelles mesurées à des stations pluviométriques disposées dans le bassin versant.

Les données météorologiques de l'"Agence Météorologique du Japon" sont transmises par ligne téléphonique (réseau national). Ces données proviennent de 4 points d'observations distants de 500 km environ les uns des autres, et couvrant la partie centrale du Japon. Les paramètres sont la pression atmosphérique, la température, l'humidité atmosphérique, la direction et la vitesse du vent. Sur ces données, on fonde des prévisions de précipitations horaires sur 15 heures. Le modèle de prévision a été étalonné sur l'expérience de 7 années, par corrélation multiple.

Sur le bassin versant sont installées 5 stations pluviométriques, dont les mesures sont transmises par radio. Par comparaison à 250 exemples d'averses mesurées dans le passé, la pluie en cours est classée parmi 3 types en fonction de ses caractéristiques, et on en déduit une deuxième prévision.

En utilisant à la fois la connaissance des précipitations des dernières 48 heures et les prévisions des prochaines 15 heures, on prévoit à l'aide d'un modèle de calcul le débit de la crue et son évolution.

L'exploitation de ce modèle sur 7 années a donné lieu à une erreur moyenne de 7 % environ dans les prévisions.

Signalons deux autres paramètres, également utilisés pour déclencher l'alerte :

- le niveau de la retenue qui traduit évidemment la plus ou moins grande capacité du réservoir à stocker la crue.
- le niveau aval, utilisé dans certains cas particuliers, notamment lorsqu'il y a danger d'inondations en aval et qu'il existe une consigne de niveau.

Ajoutons enfin que la loi définissant la mise en état de veille (par exemple en fonction de  $N$  et de  $\frac{dN}{dt}$ ) peut sous certains climats varier en fonction de la saison.

#### 4.1.3 Manoeuvres

Il s'agit des actions d'exploitation sur le matériel qui interviennent en application des consignes de crue.

##### 4.1.3.1 Objectifs des manoeuvres (ou des consignes de crue)

Le premier objectif de l'exploitant est la sécurité des ouvrages. Pour cela, il suffit la plupart du temps de ne pas dépasser une certaine cote à l'amont du barrage. Le déversement serait, en effet, mortel pour les barrages en remblai et pour beaucoup de barrages-poids. La prise en compte de cette sécurité commence évidemment par un bon dimensionnement des évacuateurs. Ce n'est pas précisément le sujet du présent rapport.

In the second example (Takase dam, Japan) :

The dam is located in a steep mountainous area.

The capacity of the reservoir is 110 hm<sup>3</sup>, the catchment area is 150 km<sup>2</sup> and the average annual precipitation is 2 500 mm.

Flood inflows are estimated with a prediction method, in which the rainfalls are forecast using upper-meteorological data, and the actual rainfalls are measured in rainfall gauging stations set up in the catchment area.

The upper-meteorological data from the Japan Meteorological Agency are transmitted by an N.T.T. (Nippon Telephone & Telegram) line. The data are those from four observational points which are about 500km apart from each other, covering the central part of Japan. The parameters are the atmospheric pressure, atmospheric temperature and humidity, the wind direction and the wind scale. Basing on these data, hourly precipitation for 15 hours is estimated. The forecast model has been calibrated on a 7-year experimental period by multiple correlation.

In the catchment area, there are five rain gauges and their data are transmitted through microwave line. Examining 250 past rainfall examples, characteristics of rainfalls were divided into three patterns. Comparing the actual rainfall with these patterns, rainfall is forecast auxiliarily. Combining the actual rainfall of the past 48 hours and the rainfall estimation of the coming 15 hours, the flood inflows from the initial stage are computed and forecast.

In operating of this system for seven years, the average deviation of the estimation to the actual value is about 7 %.

Having reviewed the factors used in determining inflow into the reservoir, two other parameters in flood warning systems must be mentioned :

- a) Reservoir level, which of course is a measure of how much flood storage capacity is available.
- b) Tailwater level, used in certain special cases where there is a danger of flooding downstream or where set levels are required.

In some climates, it is often pertinent for the relationship defining the start of the standby period (eg, N and dN/dt) to be amended to suit the season of the year.

#### 4.1.3 Gate operation

Gate operation takes place within the framework of flood rules.

##### 4.1.3.1 Objectives

The issue to be discussed now concerns the objectives that the rules for gate operation during floods seek to attain.

The first objective for dam operators is the safety of the dam. Most of the time this usually means not allowing the headwater level to rise above a certain point, as overtopping would completely destroy fill dams and many gravity dams. The first step in ensuring safety against overtopping is of course to provide adequate spillways which is not really the subject here.

Outre ce premier objectif, qui est primordial, l'exploitant est très souvent soumis à d'autres contraintes, notamment :

a) Assurer le stockage maximal : on essaie d'obtenir un niveau amont le plus haut possible et d'atteindre le niveau maximal en fin de crue. Pour les aménagements hydro-électriques, cet objectif correspond à la recherche de la productivité maximale.

b) amortir les crues : cet objectif existe dans la plupart des cas, bien que les contraintes puissent se présenter sous des formes différentes. Certains barrages sont d'ailleurs construits uniquement dans ce but. Les contraintes concernent alors le plus souvent le débit lâché, par exemple :

- . ne pas augmenter le débit maximal de la crue,
- . obtenir un débit lâché inférieur ou égal au débit entrant,
- . ne pas augmenter la vitesse de formation de la crue  $\left(\frac{dQ}{dt}\right)$

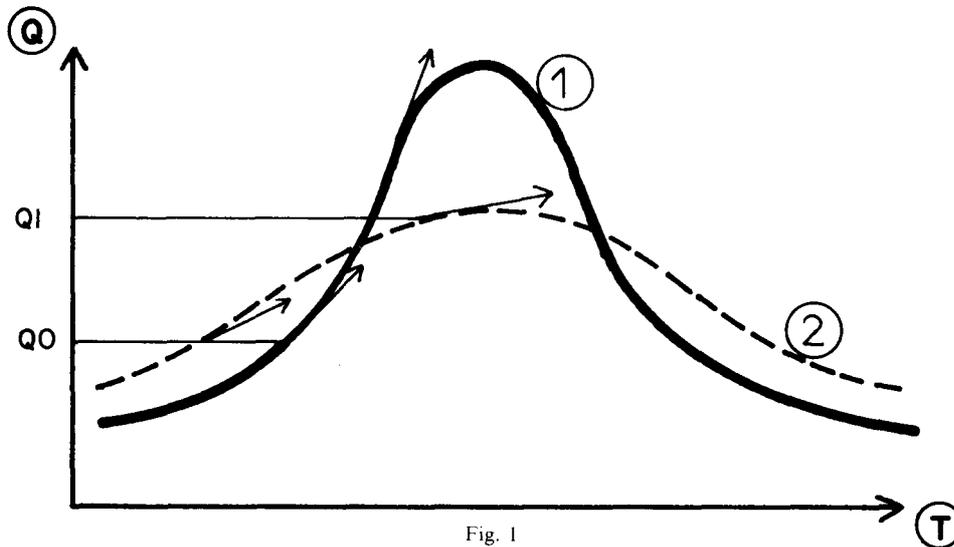


Fig. 1

- T. Temps  
Q. Débit  
1. Débit entrant  
2. Débit lâché

- T. Time  
Q. Flow  
1. Inflow  
2. Outflow

Cette contrainte revient à ne pas accroître la pente de l'hydrogramme naturel. A tout moment, la pente de la courbe du débit lâché en fonction du temps doit être inférieure à la pente de la courbe du débit entrant en fonction du temps (Fig. 1)

c) ne pas augmenter la vitesse de propagation de la crue.

Soient  $t_1$  et  $t_2$  les instants pour lesquels respectivement le débit entrant et le débit lâché sont égaux à  $Q_0$ . La contrainte précédente exprime que, quel que soit  $Q_0$ , l'instant  $t_2$  doit être postérieur à l'instant  $t_1$  (Fig. 2).

d) évacuer la totalité du débit entrant quand la cote de la retenue atteint sa valeur maximale.

e) limiter les inondations à l'aval.

In addition to this first and primordial objective, the dam operator is very often subject to other constraints, including :

a) maximum storage : the operator may wish to have the reservoir as full as possible, and reach the maximum operating level at the end of the flood. For hydro-electric schemes, the object is to maximize generation.

b) flood routing : flood control is a factor in most dams, even though it may affect them in different ways. Some dams are of course built solely for this purpose. Outflow is the controlling factor, eg :

- . the maximum flood discharge must not be increased
- . outflow must not be more than inflow
- . the rise in the rate of flow ( $dQ/dt$ ) must not be increased.

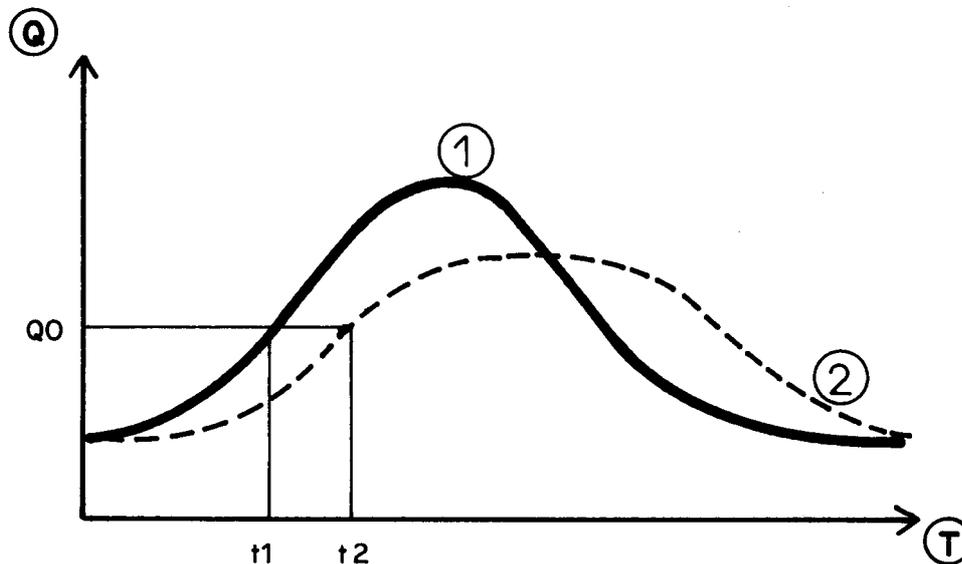


Fig. 2

T. Temps  
 Q. Débit  
 1. Débit entrant  
 2. Débit lâché

T. Time  
 Q. Flow  
 1. Inflow  
 2. Outflow

This means not steepening the slope of the natural flood hydrograph. The slope of the outflow time curve must always be less than the slope of the inflow curve (Fig. 1)

(c) the flood propagation rate must not be increased : if  $t_1$  and  $t_2$  are the times at which inflow and outflow are  $Q_0$ , regardless of the value of  $Q_0$ , then time  $t_2$  must be later than time  $t_1$  (Fig. 2).

(d) the full inflow must be discharged when the reservoir is full.

(e) flooding downstream of the dam must be kept to a minimum.

Signalons également les objectifs suivants :

- Eviter le déversement.
- Réduire le plus possible la vitesse du courant en certains points pour les besoins de la navigation.
- Consigne de niveau en queue de retenue ; une telle consigne (en général destinée à protéger des habitations contre la surélévation de niveau due au remous) suppose le plus souvent qu'on abaisse le niveau au droit du barrage, manoeuvre qui peut nécessiter un déstockage, donc une augmentation du débit en aval en début de crue. La régulation du débit sortant est alors délicate et nécessite une étude très élaborée. Ce cas se rencontre souvent pour des barrages de basse chute.
- Creux préventif pour la fonte des neiges.
- Stabilité des berges, ce qui nécessite la réduction de la vitesse de descente du plan d'eau.
- Assurer le dégravement.
- Ne pas dépasser la capacité du chenal de la rivière en aval.
- Eviter ou limiter la dégradation de la qualité de l'eau à l'aval.

Remarques :

- Les objectifs dont il est fait état ci-dessus sont généralement cités à propos d'un aménagement isolé. Mais pour certaines rivières comportant des aménagements en chaîne, on vise à gérer l'ensemble des aménagements d'une manière optimale. Cette approche globale pour un groupe d'aménagements semble de plus en plus employée.
- Les contraintes ci-dessus sont plus ou moins contradictoires et ne peuvent être satisfaites simultanément à n'importe quel degré.
- La variété des situations est infinie. On trouvera dans les exemples annexés les dispositions détaillées prises dans quelques cas particuliers typiques.

#### 4.1.3.2 Définition des manoeuvres

##### a) Généralités

Ce paragraphe traite des consignes de crue proprement dites (c'est-à-dire la manière d'atteindre les objectifs) et de la méthode de détermination des manoeuvres. Ces deux aspects sont difficilement dissociables et sont d'ailleurs liés la plupart du temps dans la pratique. On examinera également les éléments utilisés pour la détermination des manoeuvres.

Remarquons, en premier lieu, que toute manoeuvre est effectuée sur la base d'informations traitées. Quels que soient les moyens employés pour obtenir ces informations, il existe un certain retard entre le fait réel et l'arrivée de l'information au responsable. De plus, le traitement de cette information en vue de la détermination des manoeuvres n'est pas non plus immédiat. Il en résulte que l'exécution des manoeuvres suit la réalité hydraulique avec un retard plus ou moins important. Ce retard doit être évalué en fonction des moyens et méthodes employés dans chaque cas et la consigne de crue doit en tenir compte. Si par exemple, on ne doit pas dépasser un certain niveau de la retenue, il suffit de déclencher l'alarme pour un niveau inférieur de quelques centimètres au niveau maximal.

##### b) Différents type de consignes

On peut pratiquement classer les types de consigne suivant les méthodes d'exécution des manoeuvres. Il faut, bien entendu, avoir présent à l'esprit que certains cas se recoupent et que le plan suivant ne doit pas être considéré comme un cadre rigide.

There may also be various other objectives in view :

- Avoid spilling.
- Control currents at certain places for navigation.
- Control water level at the top end of the reservoir. This generally aims at protecting homes against flooding from the backwater curve, and usually implies lowering the water level at the dam, and sometimes releasing water and so increasing outflow at the start of the flood. Such circumstances make controlling outflow a complex problem and a thorough study is needed. They are often found at low-head barrage schemes.
- Provide capacity in expectation of snowmelt.
- Bank stability, which requires a slow rate of drawdown.
- Flushing for sedimentation control.
- Keep flow within capacity of downstream river channel.
- Prevent any deterioration of water quality downstream of the dam.

Commentary

- The listed objectives are generally mentioned in connection with a single dam, but where rivers are developed as a string of dams in cascade, they must all be run together for optimum efficiency. A comprehensive approach for a whole group of schemes seems to be gaining widespread favour.
- The above requirements may be mutually contradictory to some degree so that they can only be partially satisfied.
- The variety of situations is infinite, but as a general guide, the examples given in the appendix describe the arrangements in some specific but typical cases.

#### 4.1.3.2 Operating rules

##### (a) General

This section deals with the flood rules themselves (ie, how the set objectives are attained) and the way of determining how the gates must be operated. These two factors cannot be easily separated, and in practice are often interdependent. We shall also see the information used in determining what gate operations are required.

In the first place, it must be remarked that gate operation is always based on processed data. The data must first be collected, and however this is done, there is always some lag between the time the event occurs and receipt of notification thereof. Furthermore, the processing of the data necessary for determining the consequent gate operations also takes time. This means that gate operation always lags behind actual events to some degree. This time lag must be evaluated with reference to the means and methods employed in each case, and the flood rules must take account of it. One simple example is where the reservoir level must not be allowed to rise above a certain elevation, and the alarm is given when it actually reaches a level a few centimetres lower.

##### (b) Types of flood rule

A practical way of classifying the types of flood rules reported is according to the operating methods of the gates. It must however not be forgotten that some dams fall into several categories and the following breakdown must not be considered as being rigid.

#### A - Méthodes manuelles

. Consignes portant sur le débit lâché.

La méthode la plus classique consiste à remplir au maximum la retenue puis à déverser ce qui arrive en trop.

Le remplissage de la retenue peut être effectué de différentes manières :

- (i) On augmente le débit lâché par paliers successifs ; par exemple, le personnel utilise des courbes donnant toutes les 30 minutes l'augmentation du débit évacué en fonction de  $N$  et  $\frac{dN}{dt}$  pendant les 30 minutes précédentes.  
Certains exploitants utilisent des lois différentes selon les saisons.
- (ii) On déverse le moins possible.
- (iii) Le débit lâché ne doit pas dépasser une certaine valeur (contraintes d'inondations à l'aval).

La détermination des manoeuvres est effectuée par le personnel à l'aide d'abaques ou de tableaux. Les possibilités pratiques d'application de consignes de ce genre sont évidemment limitées.

. Consignes de niveau

Les consignes de ce type sont souvent très simples. On peut, par exemple, déverser à partir d'un certain niveau ou suivre une loi de niveau en fonction de l'époque de l'année.

. Consignes de bassin

La consigne peut être globale sur tout un bassin.

#### B - Méthodes utilisant un calculateur d'aide à la conduite

La prise en compte d'informations nombreuses (par exemple si on utilise un modèle hydrométéorologique) peut nécessiter l'emploi d'un calculateur pour déterminer les manoeuvres à effectuer à partir des informations reçues. Par exemple, on peut entrer les informations (débit entrant, niveau, informations météorologiques) dans un calculateur qui, en fonction d'un diagramme hydraulique de stockage des crues, détermine les manoeuvres qui sont ensuite commandées par le personnel. Les informations sont entrées dans le calculateur manuellement ou automatiquement : le calculateur peut, par exemple, interroger lui-même des stations de jaugeage (cf 4.1.2.1).

#### C - Solutions intégrées \*

Le plus simple de ces systèmes est le déversoir à seuil libre. Il présente l'avantage de la simplicité, de la robustesse et de la sécurité. Son emploi est recommandé dans les sites montagneux et difficilement accessibles. Il constitue parfois le dernier maillon de sécurité sur des barrages en remblai n'acceptant pas le déversement. C'est toutefois une solution coûteuse par l'étendue de la surface occupée quand les débits sont importants.

\* Rappelons que nous désignons ainsi les cas où il n'y a pas de limites franches entre "état de routine", "état de veille", et "état de crue". Voir § 4.1.1. ci-dessus.

#### A - Manual methods

##### . Rules based on outflow

The most conventional method consists in filling the reservoir to the top and then releasing all the surplus inflow.

There are various ways of filling the reservoir :

(i) Outflow can be increased in steps. For example, the staff uses curves showing, in 30-minute intervals, the increase in outflow as a function of  $N$  and  $dN/dt$  in the previous 30 minutes.

Some operators use different charts for different seasons.

(ii) Spillage may be kept to a minimum.

(iii) Outflow may not be allowed to exceed a certain maximum discharge rate (to control flooding downstream).

Gate openings are decided by the staff, using charts or tables. Practical applications of this type of operating procedure are of course limited.

##### . Rules based on water level

Rules based on water level are often very simple. For example, water may be spilled once the reservoir has reached a certain level; the limiting water level may vary with the time of year.

##### . Rules based on whole catchment

The rule may cover the whole catchment.

#### B - Computer-assisted methods

A large amount of input data (where there is a hydrometeorological model for example) may require use of a computer to determine how the gates must be operated from the information collected. For example, the data on inflow into the reservoir, water level and weather may be fed into a computer which refers to a hydraulic diagram of flood storage and prints out the gate operations required, which are then performed by the personnel. Data may be fed manually into the computer, or the computer itself may interrogate the gauging stations (cf 4.1.2.1).

#### C - Integrated methods \*

The simplest system of this type is the ungated overflow spillway. It has the advantage of simplicity, robustness and reliability, and is recommended in mountainous, inaccessible sites. It is sometimes the last line of defence protecting fill dams against overtopping. However, it occupies a large site area when it must control large streamflows.

\* Where there are no clear boundaries between routine, standby and flood situations (cf 4.1.1. above).

' Plus "évoluées" techniquement sont les vannes à commande automatique dont l'ouverture est fonction du niveau et/ou de  $\frac{dN}{dt}$ .

Le système mécanique peut être assez simple (flotteur) ou plus compliqué si l'on prend en compte  $\frac{dN}{dt}$ . On retrouve aussi ce système comme élément de

dernière sécurité sur des ouvrages commandés par calculateurs.

Le dernier stade d'automatisation est celui qui prend les informations, les traite, définit les manoeuvres et les effectue automatiquement sans intervention humaine. Certains ouvrages sont ainsi commandés totalement par un calculateur. Il s'agit habituellement d'aménagements en chaîne. Deux systèmes sont alors possibles :

(i) Chaque aménagement possède son calculateur qui conduit l'exploitation de l'aménagement en fonction d'informations provenant d'autres ouvrages. Une telle exploitation "individuelle" présente un avantage sur le plan de la sécurité; si un calculateur tombe en panne, l'aménagement correspondant sera exploité manuellement, mais les autres continueront d'avoir une exploitation normale.

(ii) Un calculateur central commande plusieurs aménagements en recherchant un optimum global tout en suivant des consignes propres à chaque ouvrage. L'avantage de ce système est de permettre une gestion optimale beaucoup plus facile de l'ensemble des aménagements, mais une panne de calculateur oblige à reprendre manuellement l'exploitation de chaque aménagement. Par ailleurs les problèmes de transmission sont d'une importance vitale; or nous savons bien que la fiabilité des moyens actuels n'est pas parfaite.

c/Remarques sur les éléments utilisés pour la détermination des manoeuvres

Le tableau ci-dessous récapitule les renseignements fournis par l'enquête en indiquant pour chaque type d'information le nombre de fois où elle est utilisée.

Ce tableau est homologue de celui établi au § 4.1.2.2. pour la mise en "état de veille" et permet d'utiles comparaisons.

Elément utilisé	Nombre de barrages
$\frac{dN}{dt}$	
Niveau amont (1 mesure)	71
Débit lâché à l'évacuateur	62
Précipitations	60
Débit entrant	52
Débit soutiré autrement que par l'évacuateur	45
Débit mesuré à des stations de jaugeage amont	43
Niveau aval	40
$\frac{dN}{dt}$ (Q = débit entrant)	39
Niveau amont mesuré en plusieurs points	36
Débit mesuré aux barrages amont	33
	29

Rappelons que l'enquête portait sur 120 barrages.

A technically more sophisticated solution involves automatically controlled gates operating on the basis of water level and/or  $dN/dt$ .

The mechanical system may be very simple if opening is controlled by a float or more complicated when using the  $dN/dt$  parameter. This system is also used as the ultimate line of defence in computer-controlled systems.

The ultimate in automation is the system which collects and processes the data, determines the gate operations required, and automatically opens the gates without human intervention of any kind. Some dams are entirely controlled by computer, usually where there are dams in cascade. In this situation, two arrangements are possible:

(i) Each dam may have its own computer which operates the dam on the basis of data from the other dams. This is the "dedicated" system which has an advantage as regards safety, in that if one of the computers breaks down, the dam can be operated manually while the others continue in the normal way.

(ii) Alternatively, a central computer may control several dams for maximum overall efficiency while applying the rules specific to each dam. The advantage here is that it is much easier to arrive at optimum overall operation, but a computer breakdown does mean that all the dams must revert to manual operation. The question of transmission is also vital, and it is a fact that today's communications are not perfect.

(c) Notes on factors used in determining gate operation

The table that follows is a summary of the answers to the enquiry, the number opposite each item of information indicating the number of times it is used. It is similar to the one in section 4.1.2.2 on standby procedures, and provides some interesting comparisons.

Factors	Number of Dams
- Reservoir level rate-of-change ...	71
- Reservoir level (1 measurement) ..	62
- Spillway discharge .....	60
- Precipitation .....	52
- Inflow .....	45
- Discharge other than through spillway .....	43
- Measured streamflow upstream .....	40
- Tailwater level .....	39
- Inflow rate-of-change .....	36
- Water levels at points upstream ..	33
- Flow at upstream dams .....	29

These figures refer to the same 120 dams as before.

On constate que pour la détermination des manoeuvres, on utilise un plus grand nombre d'éléments que pour la mise en "état de veille" (4,3 en moyenne au lieu de 3,7).

On remarquera également que les mesures de niveau sont les paramètres le plus souvent utilisés pour la détermination des manoeuvres et que les précipitations sont d'un emploi moins fréquent que pour l'alerte. On notera aussi que le débit entrant est déterminé à partir de  $\frac{dN}{dt}$  ou mesuré à des stations de jaugeage amont.

#### 4.1.3.3 Modes d'exécution des manoeuvres

Les modes d'exécution des manoeuvres peuvent être classées de trois manières :

- Suivant la manoeuvre : volontaire ou automatique.
- Suivant le type de commande : locale ou à distance (télécommande).
- Suivant la source d'énergie utilisée : c'est généralement l'électricité mais ce peut être aussi la charge hydraulique, l'énergie musculaire (en secours), l'énergie thermique (moteur diesel en secours).

Les résultats de l'enquête montrent que le mode le plus utilisé est la commande volontaire, locale et motorisée (la plupart du temps électrique). Ce système est de plus en plus souvent assorti d'une télécommande. La manoeuvre reste dans ce dernier cas commandée par le personnel, mais celui-ci agit à distance. La charge hydraulique est parfois utilisée comme source d'énergie associée à une commande volontaire. Des manoeuvres automatiques (par exemple en fonction du niveau) existent sur de nombreux ouvrages; la source d'énergie employée pour ces dispositifs automatiques peut être la charge d'eau, ce qui permet une indépendance complète du système. Enfin, il existe quelques exemples de systèmes totalement intégrés avec calculateur, les manoeuvres étant effectuées automatiquement et le plus souvent commandées électriquement.

La commande locale motorisée occupe donc encore une place très importante dans les modes d'exécution des manoeuvres; toutefois, la commande par automate et la télécommande se développent de plus en plus. Ce dernier cas est lié à l'extension de la pratique de confier à un service de quart ou à une astreinte unique la gestion de plusieurs ouvrages.

#### 4.1.4 Difficultés d'exécution de la consigne

##### 4.1.4.1 Phénomènes parasites

Les phénomènes parasites qui perturbent les mesures de niveau sont généralement les vagues, mais parfois aussi les remous et les seiches.

Diverses méthodes sont mises en oeuvre pour les combattre.

Lorsque l'exploitation est assurée par un calculateur, le problème est facilement résolu : le calculateur reçoit une mesure continue ou plusieurs mesures avec une périodicité déterminée et opère le lissage nécessaire. Pour une grande retenue, si l'on estime le débit entrant à partir de la vitesse de variation du niveau,  $\frac{dN}{dt}$  sera évalué en effectuant des mesures de niveau rapprochées et la précision doit être grande. La moindre perturbation peut évidemment fausser considérablement les mesures.

En exploitation manuelle, les méthodes les plus employées pour éliminer l'effet des perturbations consistent à placer les capteurs dans un puits de

It is readily apparent that gate operations are based on more parameters than the standby procedure - on average 4.3 variables as against 3.7.

Water level is the most widely used. Precipitation data is used much less than for flood warning purposes. Note also that the inflow is determined by  $dN/dt$  or by the upstream gauging stations.

#### 4.1.3.3 Methods for gate operation

Gate operation can be classified according to three criteria:

- Whether the gates are opened automatically or require human control.
- Whether they are operated locally at the dam or from some remote control point.
- Lastly, according to the energy source: usually electricity but sometimes hydrostatic head, manpower (in emergencies) or ic engines (standby diesel).

In the answers received, the most widespread method was local human control and motorized operation (usually electric). This is frequently found, although increasingly combined with remote control. In this case, a finger presses a button, but the operation takes place elsewhere. Hydrostatic head may provide the motive power but under human control. Automatic gate operation (for example on the basis of water level) is found at many dams. The energy source may be hydrostatic pressure, providing a completely self-contained system. Lastly, there are a few examples of fully integrated computer-based systems in which gate operation is automatic, usually with electricity as the motive power.

We find then that local motorized operation still has a very important place. Nevertheless, automatic and remotely controlled operation are both gaining favour, the latter development being connected with the growth of the policy of having several dams supervised by a single set of operators (on a full- or partial-shift basis).

#### 4.1.4 Difficulties in following flood rules

##### 4.1.4.1 Noise

"Noise" in the form of waves, backwater curves or seiches has the effect of concealing actual water levels.

Various methods have been used to combat this problem.

When the dam is run by a computer, it is easily overcome. The computer receives a continuous record or several records at set intervals, and smooths out the curve. If inflow into a large reservoir is estimated from the rate-of-change in water level, then  $dN/dt$  will be evaluated from closely spaced measurements of water level and accuracy should be very good. The least disturbance can obviously affect the measurements considerably.

In manually operated systems, the most common remedies are installing the instruments in wells to damp out disturbances, and/or

tranquillisation et/ou à effectuer des mesures successives espacées de quelques secondes et en faire la moyenne.

Il existe quelques cas particuliers :

- L'incertitude sur le niveau peut être prise en compte en abaissant de quelques centimètres le niveau limite ; dans le même esprit, on peut également apporter des corrections aux mesures de débit.

- Dans d'autres cas, la loi "niveau-débit" des stations de jaugeage est corrigée en fonction de la raideur du front d'onde. En effet, cette loi est différente suivant que l'on est en période de montée ou de descente de la crue. Pour des crues progressives, cette correction peut être négligée et il faut donc étudier la forme des hydrogrammes des crues pour chaque aménagement. Dans la pratique, cette correction en fonction de la raideur du front d'onde est rarement nécessaire.

- Parfois, on tient compte de la pluie qui tombe sur la surface de la retenue pour corriger les valeurs données par les stations de jaugeage.

Tous ces problèmes semblent donc correctement résolus et n'entraînent plus de difficultés particulières dans l'exploitation des ouvrages.

#### 4.1.4.2 Moyens de transmission

Il semble que la plupart du temps au moins deux modes de liaison sont mis en place, sauf cas exceptionnels où les liaisons sont constituées par des lignes souterraines privées. Le coût d'installation de ces dernières est sans doute élevé, mais de telles lignes souterraines sont à l'abri des intempéries et présentent une grande fiabilité, ce qui permet aux exploitants de n'avoir qu'un seul mode de transmission.

En règle générale, les solutions adoptées sont très variées et semblent plus résulter des conditions locales que de règles techniques de portée générale.

On rencontre néanmoins certaines tendances propres à chaque pays. Par exemple, on utilisera des liaisons haute fréquence sur ligne électrique, doublées par une ligne d'abonnement téléphonique automatique ou manuelle en cas de défaillance. Ou bien, on fera habituellement confiance au réseau téléphonique automatique, sauf pour les ouvrages appartenant à un ensemble d'aménagements géré par un ordinateur et utilisant des circuits haute fréquence sur ligne électrique (ou des lignes souterraines), le téléphone étant adopté en secours.

Dans d'autres cas, les lignes d'abonnement téléphoniques automatiques seront employées comme liaison principale, le moyen de secours étant constitué par une liaison hertzienne.

Pour prévenir les défaillances des moyens de transmissions, on utilise donc la redondance de ces moyens, mais on effectue souvent aussi des mesures répétées ou des enregistrements. Aucun exploitant n'a signalé l'utilisation d'un contrôle systématique des circuits avec alertes en cas de défaut, ce qui laisse supposer que dans la majorité des cas les mesures effectuées à intervalles réguliers constituent des essais et suffisent à contrôler le bon fonctionnement de la liaison.

#### 4.1.4.3 Mesures prises pour parer aux défaillances

On peut classer les défaillances en trois types :

a/ Défaillance des calculateurs et des dispositifs automatiques

Le remède, simple en théorie, mais parfois difficile à réaliser, consiste à

taking measurements every few seconds, and averaging.

A few special cases merit mention :

- Allowance may be made for uncertainty as to the exact water level by setting the threshold level a few centimetres lower. Corrections may also be made to streamflow measurements.

- In other cases, the gauging station stage/discharge relationship may be corrected to allow for the steepness of the wave front, the argument being that rating curves are different during the flood rise and flood recession periods. For slowly rising floods, the correction can be ignored; in other words, the shape of the flood hydrograph must be investigated at every individual dam. Such correction however is rarely necessary.

- Sometimes, rainfall over the reservoir is used to correct the records from the gauging stations.

All these problems may therefore be overcome satisfactorily and do not cause any particular difficulty in running the dams.

#### 4.1.4.2 Teletransmission channels

It is found that transmission links are usually duplicated except in exceptional circumstances where dedicated buried lines are used. They are doubtlessly more expensive to lay but are protected against weather and are extremely reliable, so that only one channel is needed.

As a general rule, a variety of means are used and appear to be determined more by local conditions than by any set technical policy.

One does however find national trends. For example, there may be high-frequency links over electricity lines backed up by a public telephone line through an automatic or manual exchange. Alternatively, the automatic telephone system may be used except for dams belonging to a group of schemes run by a computer, when there may be a high-frequency carrier system on electricity lines (or underground lines), with the telephone system as a standby.

Another possibility is automatic exchange public telephone lines being used as the main link, with radio as backup.

To combat faults in the transmission links therefore, use is made of redundancy but repeated measurements or recordings may also be employed. No operators mentioned systematic circuit monitoring with alarms to notify of faults. In most cases, it must be considered that measurements at regular intervals provide an adequate check on the functioning of the link.

#### 4.1.4.3 Means of overcoming faults

Faults can be classified into three types :

a/ Faults in computers and automatic systems

The remedy is simple in theory, but sometimes difficult to put into practice. Manual control must take over, meaning, for a

passer en commande manuelle. Pour la conduite d'un ensemble d'ouvrages en chaîne, ceci nécessite une consigne écrite de secours, simple à mettre en application. La défaillance de la télécommande nécessite une commande locale des organes d'évacuation.

Mais en cette matière, la prévention est la meilleure arme contre les défaillances et on devra veiller à une excellente qualité des composants, à une bonne conception et un bon entretien de l'installation.

b/ Défaillance du gros matériel

La meilleure sécurité consiste à assurer un entretien régulier et sérieux et à procéder à des essais périodiques (voir chapitre 3).

c/ Défaillance de l'alimentation en énergie

Lorsque l'énergie électrique est utilisée, on prévoit systématiquement des groupes électrogènes de secours.

Il existe même souvent une triple alimentation : usine hydroélectrique, réseau, groupe électrogène. Dans certains cas, il peut être intéressant de disposer de groupes de secours mobiles. Certains exploitants utilisent, en énergie de secours, la charge hydraulique ou des contrepoids. Mais de tels dispositifs présentent un certain risque de crues artificielles.

Enfin, des manoeuvres manuelles (manivelle, pompe à huile manuelle) sont souvent possibles. De telles manoeuvres sont toutefois inopérantes dans le cas de gros ouvrages d'évacuation.

cascade of dams, a set of written standby rules that are simple to follow. Breakdown of the remote control system means local operation of the spillway gates.

But prevention is the best cure, and one must endeavour to have quality components in a well-designed and maintained installation.

(b) Fault in plant

The best remedy is regular, conscientious maintenance and testing (see Chapter 3).

(c) Power failures

Standby generating sets are always used when the energy source is electricity.

A three-source system is often used: hydro powerstation, grid, standby generating set. Mobile generators may be useful. Some operators use hydrostatic head or counterweights, etc. as emergency power. But artificial floods must be avoided.

Lastly, the gates can often be operated manually (crank handle, manual oil pump) although this is not possible on very large spillways.

#### 4.2 Remarques, enseignements et recommandations

L'analyse qui vient d'être faite des différentes pratiques en vigueur permet de tirer certains enseignements applicables à l'exploitation en temps de crue.

##### 4.2.1 Influence du volume de la retenue sur la consigne de crue

L'élaboration des consignes doit être basée sur des études quantitatives prenant en compte de façon réaliste les caractéristiques du site et les possibilités de la technologie. Ces consignes doivent définir de façon précise la hiérarchie dans le respect des objectifs.

C'est ainsi que, par exemple, l'importance du volume de la retenue vis-à-vis de celui des crues possibles est un facteur déterminant dans l'élaboration des consignes. Il est intéressant d'approfondir cette corrélation.

On définira la capacité relative d'une retenue par le rapport du volume utile de la retenue au volume de la crue de fréquence annuelle. Elle caractérise donc en quelque sorte la vulnérabilité de la retenue vis-à-vis des crues.

##### 4.2.1.1 Retenue de grande capacité relative

On peut classer dans cette catégorie tous les ouvrages dont la durée de remplissage dépasse l'année. La consigne habituelle (en dehors d'une consigne de stockage) est de viser à réaliser l'égalité entre le débit lâché et le débit entrant. La détermination du débit entrant est difficile (il y a souvent plusieurs affluents débouchant directement dans une grande retenue dont le niveau varie très lentement) et ce débit est connu avec un retard qui peut être important. Ces inconvénients sont compensés par le fait qu'en raison de la surface très importante du plan d'eau, on dispose d'une grande maîtrise du niveau. On peut donc difficilement utiliser comme information la variation du niveau  $\frac{dN}{dT}$  dont la mesure est trop imprécise et dont la connaissance est trop tardive.

L'ouverture des vannes est alors réglée essentiellement en fonction du niveau de la retenue.

La régulation du débit sortant se traduit donc par une régulation fort peu performante du niveau, ce qui ne constitue pas un inconvénient très grave. Bien souvent d'ailleurs, la seule influence du fonctionnement de l'usine hydro-électrique suffit à assurer la gestion des crues.

##### 4.2.1.2 Retenue de capacité relative moyenne

Pour donner un ordre de grandeur, on rangera dans cette catégorie les retenues dont la durée de remplissage se compte en mois. La consigne habituelle est alors d'obtenir un débit lâché inférieur au débit entrant. Les règles d'évacuation de ce débit sont variables (voir § 4.1.3.2 "Méthodes manuelles"). Le temps d'obtention de la connaissance du débit entrant est alors plus court. Les paramètres utilisés sont généralement le niveau de la retenue  $N$  et sa variation  $\frac{dN}{dt}$ .

##### 4.2.1.3 Retenue de faible capacité relative

Le volume de la crue représente ici une proportion notable du volume utile de la retenue, voire plusieurs fois ce volume; la durée de remplissage est de l'ordre de la journée.

## 4.2 Conclusions and Recommendations

The facts that have come to light on current practice make it possible to draw certain conclusions applicable to the whole question of operating procedures in times of flood.

### 4.2.1 Effect of reservoir capacity on flood rule

Quantitative analysis with realistic assessments of the characteristics of the site is necessary in preparing flood rules. The rules must clearly state the order of priority in the objectives to be attained.

For example, the size of the reservoir in respect of possible floods is a determining factor in the design of the rules, and it is interesting to go into this relationship a little more deeply.

The "relative reservoir capacity" can be defined as the ratio between the live storage capacity and the flood volume of annual return period. It is, so to speak, a measure of the vulnerability of the reservoir to floods.

#### 4.2.1.1 Large relative capacity

All reservoirs taking more than a year to fill can be classified as having a large relative capacity. The usual rule (leaving aside the process of filling a reservoir) is to try to have outflow equal to inflow. Determining inflow is difficult (there are often several tributaries into a large reservoir and the level rises very slowly) and may involve a considerable lead time. The shortcomings are however offset by the very large surface area of the reservoir providing excellent control over the water level. It is hardly appropriate to use the rule-of-change in level therefore, as it cannot be precisely monitored and the information would not be available early enough. Under these circumstances, gate opening is governed chiefly by reservoir level.

In a large reservoir, therefore, controlling the outflow is not accompanied by any high degree of control of reservoir level, although this is not a very serious problem. Often in fact, hydro generation is sufficient for flood routing.

#### 4.2.1.2 Moderate relative capacity

To give an idea of the order of magnitude involved, this category will include dams where the filling time is reckoned in months. The usual rule is to have outflow less than flood inflow. Ways of releasing this flow may vary (see 4.1.3.2 Manual Methods). Less time is needed to obtain the inflow data, and the parameters most often used are reservoir level  $N$  and its rate-of-change  $dN/dt$ .

#### 4.2.1.3 Small relative capacity

A reservoir has a small relative capacity if the flood volume represents a substantial proportion of, or is several times larger than the live capacity, with filling times in the region of one day.

On utilise alors souvent les consignes suivantes :

- $Q$  lâché  $\ll$   $Q$  entrant, étant entendu que l'établissement du débit sortant doit être obtenu dans un délai très bref après la mesure du débit entrant, et éventuellement :
- $Q$  lâché  $\gtrsim$   $Q$  entrant en début de crue (basculement du plan d'eau). Dans ce cas, un creux préventif est donc réalisé avant l'arrivée de la crue ou au début de la crue. On doit alors être assuré de l'arrivée de la crue et de son volume, faute de quoi on perdrait de l'eau. De toutes façons, ce système contribue à augmenter la vitesse de propagation de la crue.

La régulation des ouvrages classés dans cette catégorie est toujours très difficile. Pour accroître la précocité de l'action, il est nécessaire de prendre en compte de nombreux paramètres (niveaux mesurés en plusieurs points en particulier en queue de retenue, informations pluviométriques, voire même informations météorologiques). La détermination des manoeuvres devient alors très compliquée et nécessite assez souvent de faire appel à un calculateur.

Ce calculateur peut, soit définir simplement les manoeuvres sans les effectuer, soit conduire lui-même toute l'exploitation sans nécessiter d'intervention humaine.

Voici un exemple de ce dernier cas où la capacité relative de la retenue est égale à 0,35 (Barrage d'Ikehara, Japon). Il s'agit d'un bassin montagneux dont les sites équipables ont des capacités modestes et où les pluies sont courtes, violentes et localisées, donc peu prévisibles. Tous ces éléments nécessitent une prévision précoce (modèle pluviométrique et de ruissellement) et une conduite de l'exploitation centralisée pour plusieurs aménagements qui sont disposés en chaîne et rapprochés. Un calculateur traite les informations en temps réel.

Cinq barrages sont exploités par ce calculateur implanté dans un centre de contrôle. Les contraintes à respecter sont les suivantes :

- ne pas augmenter le débit maximal, le débit entrant, sa variation  $\frac{dQ}{dt}$  et la vitesse de propagation de la crue.
- maintenir les cotes de retenue dans certaines limites (consigne de niveau).

Le calculateur utilise les informations telles que  $N$ ,  $\frac{dN}{dt}$ , débit entrant  $Q$ ,

débit déversé à l'évacuateur, débit turbiné,  $\frac{dQ}{dt}$ , débit aux jaugeages amont, précipitations, niveau aval.

Pour chaque barrage, le calculateur suit une consigne de crue qui aboutit, par exemple, à la séquence suivante de manoeuvres (Fig. 3).

The following rules are found in this case:

- $Q_{outflow} \leq Q_{inflow}$  with very short time lag between inflow measurement and outflow determination, and/incidentally,
- $Q_{outflow} > Q_{inflow}$  at the start of the flood (reversal of reservoir movement). In other words, the reservoir is partially emptied before the flood arrives. But it must not be forgotten that one must be definitely sure that a flood of known magnitude is going to arrive, otherwise water is wasted. In any event, this approach increases the flood propagation rate.

River regulation of dams in this category is never easy, and more parameters (multiple-level gaugings, especially at the top of the reservoir, rainfall data, and even meteorological data) must be considered so that action can be taken earlier. Determination of the necessary flood gate operations becomes very complicated and a computer is often needed.

The computer may determine gate operations but not actually perform them, or it may run the whole system automatically, without human action.

An example is Ikehara dam in Japan, where the live capacity to flood volume ratio is 0.35. It concerns mountain rivers where sites suitable for development offer only moderate storage capacities, and storms are brief, violent and localized, making them difficult to predict. All this creates a need for early warning (rainfall and runoff model) and centralized control for a number of dams in cascade and close to each other. Real-time computer processing of data is used.

Five dams are run by a computer at the control centre. The criteria are:

- . Maximum flow, inflow, rate-of-change in flow  $dQ/dt$  and flood propagation rate must not be augmented.
- . The reservoir water levels must be held between set limits.

Computer input data include reservoir level  $N$ , rate-of-change  $dN/dt$ , inflow  $Q$ , spillage, turbine discharge,  $dQ/dt$ , streamflow at upstream gauging stations, rainfall and tailwater level. According to a flood rule (one for each dam), the computer decides for example the following sequence of gate opening (Fig. 3).

A l'arrivée de la crue, on commence par déverser 1 500 m<sup>3</sup>/s pendant 30 minutes (A B) puis l'accroissement du débit lâché suit la montée de la crue (B C). Dès qu'on atteint la pointe de la crue (point C), le débit lâché est stabilisé (C D) jusqu'à ce que  $Q_{\text{entrant}} = Q_{\text{lâché}}$  (point D) et ensuite  $Q_{\text{entrant}} = Q_{\text{lâché}}$  jusqu'à la fin de la crue (DE). Cette méthode suppose que le creux de la retenue en début de crue est suffisant pour stocker le volume correspondant au volume hachuré de la figure.

#### 4.2.2. Avantages et contraintes de l'automatisation

Les paragraphes précédents ont montré tout l'intérêt de l'automatisation qui constitue un progrès notable dans l'exploitation, notamment pour les retenues de faible capacité relative, car elle permet une conduite en temps réel avec une prévision plus précoce et un temps de réaction très réduit. L'introduction d'automates implique toutefois certaines contraintes, tant dans la conception du matériel que dans la pratique de l'exploitation. On examinera successivement ces deux aspects, après quelques remarques relatives à l'état de veille.

##### 4.2.2.1 Remarques sur la mise en état de veille

Les progrès réalisés pour la mise au point de mécanismes simples et fiables devraient pouvoir généraliser l'habitude d'employer des dispositifs automatiques pour déclencher "l'état de veille" ; de tels automates sont déjà utilisés sur de nombreuses installations. La tendance est d'installer des appareils à traitement numérique de préférence à des automatismes analogiques.

La solution la plus élaborée est évidemment le système intégré constitué par un ordinateur qui reçoit toutes les informations y compris le débit et, suivant les consignes, donne les ordres de manoeuvres sans que les états de veille ou de crue soient pour lui très différents de l'état de routine.

On notera que les détecteurs de crues basés sur la mesure du niveau  $N$  et de sa vitesse de variation  $\frac{dN}{dt}$  n'ont pas une précision très grande, même si des techniques performantes comme le traitement numérique des informations sont utilisées ; ils sont néanmoins très appréciés des exploitants qui les utilisent.

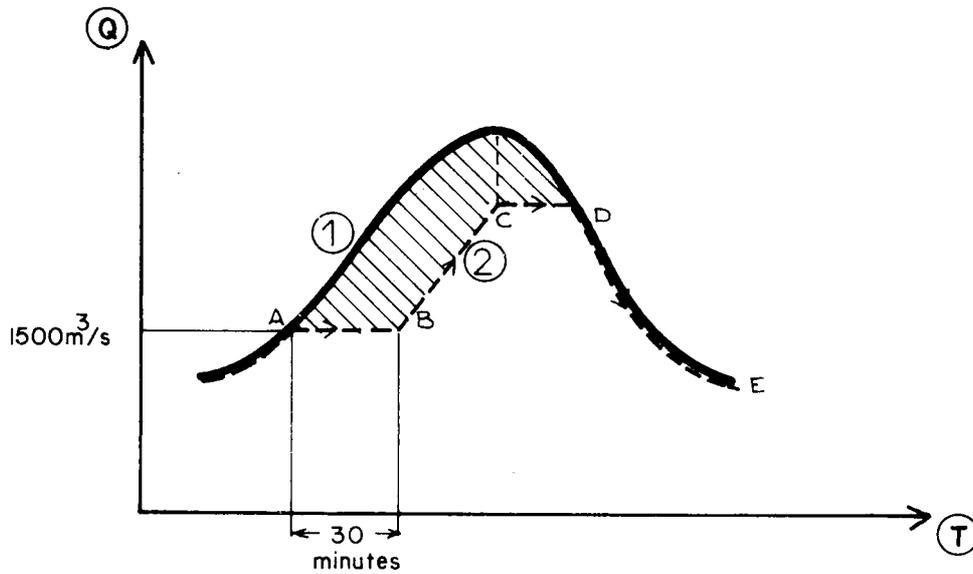


Fig. 3

T. Temps  
 Q. Débit  
 1. Débit entrant  
 2. Débit lâché

T. Time  
 Q. Flow  
 1. Inflow  
 2. Spillage

Flood operation starts by spilling  $1\ 500\ m^3/s$  for 30 minutes (AB), and then outflow is kept parallel with the rising flood (BC). Once the peak is reached (C), outflow is kept steady (CD) until  $Q$  inflow equals  $Q$  outflow (D), this situation being maintained (DE) until the flood has passed. This assumes that available capacity in the reservoir at the start of the flood will be enough to contain the volume shown hatched in the figure.

#### 4.2.2. Advantages and shortcomings of automation

The foregoing description clearly illustrates the advantages of automation. It is a distinct improvement in the running of reservoirs with small relative capacities because it offers real-time control with earlier warning and a very short reaction time. But the introduction of automatic systems implies certain constraints in the design of the equipment as well as in operating practice. These two aspects are examined below, after the notes on standby.

##### 4.2.2.1 Notes on standby

Starting with the question of standby procedure, progress in the development of simple, reliable systems should promote the more widespread acceptance of automatic devices to set the system on standby. Automation is used at many installations. The current trend is to make use of digital equipment rather than analogs.

The most elaborate solution is obviously the comprehensive computer-controlled system in which the computer is fed data on streamflow and all other parameters and refers to the operating rules to open the gates, so that there is no very great difference between routine, standby and flood operation.

Flood detection systems based on the measurement of water level and its rate-of-change ( $N$  and  $dN/dt$ ) are not very accurate even if sophisticated techniques like data processing are used. They are nevertheless highly valued by the dam operators that have them.

Il semble que le facteur le plus important à prendre en compte pour déclencher l'alerte soit le débit entrant. Pour l'obtenir avec la plus grande précision et dans les délais les plus brefs, une des meilleures méthodes consiste à utiliser les informations des stations de jaugeage amont, en portant un soin particulier à la fiabilité des transmissions. Les informations de ces stations peuvent être également utilisées pour la détermination des manoeuvres à effectuer. En effet, à condition que la station soit convenablement aménagée, les mesures ainsi effectuées donnent immédiatement et directement les valeurs des débits recherchées. C'est un important avantage par rapport à des estimations réalisées d'après les mesures d'ouverture des évacuateurs et de variations du plan d'eau. Ces estimations ne peuvent intervenir qu'avec un certain retard et cumulent deux imprécisions. Par ailleurs, la proximité de la station est un facteur favorable pour la précision de l'information.

#### 4.2.2.2 Contraintes et remarques concernant la conception du matériel

On a déjà souligné la nécessité d'une grande sécurité de fonctionnement des évacuateurs de crues et les problèmes spécifiques qu'ils posent.

- En matière de fonctionnement automatique, l'importance des risques encourus impose une conception du matériel qui se distingue des pratiques habituellement utilisées pour les automates courants. En particulier, on s'attachera à s'assurer l'existence de redondances de nature à réduire très sensiblement les risques de défaillance. En cas de mise en oeuvre de procédures alternatives (de secours), on devra veiller à assurer leur indépendance effective. L'alimentation en énergie, notamment, devra comporter une ou plusieurs dispositifs de secours susceptibles d'assurer une sécurité quasi absolue. Quant aux cas d'utilisation de calculateurs, un doublement de l'ordinateur et un logiciel approprié permettent un contrôle croisé permanent qui donne une bonne garantie de fonctionnement du système.

On notera à ce sujet que les risques principaux de défaillance portent plus sur le logiciel que sur le matériel lui-même, du moins pour les exploitations un peu compliquées. Un doublement du calculateur n'apporte aucune garantie, bien entendu, contre les erreurs de logiciel. Le plus grand soin doit donc être apporté à l'établissement de ce dernier. Certains exploitants ont établi des recommandations particulières pour ce type d'automatisation.

- De manière analogue, il est généralement contre-indiqué d'automatiser des organes vétustes, l'expérience montrant que de tels organes sont bien souvent incompatibles avec un fonctionnement automatique, en raison de leur conception, de leur technologie et/ou de leur état d'entretien.

- Il est bien évident par ailleurs qu'une automatisation n'a de sens et d'intérêt que si elle se traduit par un bilan financier favorable, étant entendu qu'elle ne doit pas réduire la sécurité d'exploitation.

Remarques :

1 - On a exposé précédemment (§ 4.1.3.2.b.) les deux conceptions sur lesquelles pouvait être fondée l'exploitation hydraulique d'un complexe de barrages à l'aide de calculateurs. La première met en oeuvre un calculateur sur chaque aménagement, la deuxième un calculateur centralisé couplé à des télécommandes. Dans le cas d'une chaîne linéaire d'aménagements, l'expérience semble démontrer que la première de ces conceptions est préférable.

2 - Les automates utilisant la charge hydraulique sont très séduisants dans leur principe, mais dans certains cas, ils ont pu donner lieu à des défauts de fonctionnement extrêmement gênants. Il s'agissait la plupart du temps de coïncement ou d'instabilités du degré d'ouverture des vannes ou d'obstructions

It would appear that the most important factor to be considered in the standby procedure is inflow into the reservoir. One of the quickest and most accurate methods of obtaining this information is to use records from gauging stations upstream of the reservoir (with particular attention paid to data transmission reliability). Properly engineered streamgauging stations can be used to determine gate opening patterns because they measure flow immediately and directly, an important advantage over estimates of discharge through dam spillways or rise in water level, which cumulate two factors of error, as well as requiring time for the calculations. A station close to the reservoir will tend to produce more accurate data.

#### 4.2.2.2 Design implications

The need for a very high degree of reliability of spillway operation and the specific problems arising in this respect have already been emphasized.

- The importance of the risks involved means that the design of an automatic spillway system is quite different from what is usually encountered in the normal run of automation. One of the most important points is the need for redundancy, which greatly reduces the probability of failure. Alternative backup procedures must be made effectively independent. The power supply for example must make use of one or more standby sources giving an almost infinite assurance of reliability. Where computers are used, redundancy (two computers) and appropriate subroutines provide the facility for a constant cross-check that ensures the system is functioning correctly at all time.

One of the main risks of malfunction in fact resides more in the software than the hardware, at least once the system is to any degree complex. Having two computers, then, is no safeguard, one must write the programs with the greatest care. Special guidelines have been issued for this type of automation by some operators.

- It is generally considered that automatic control should not be built onto old installations, experience showing that they are often incompatible because of their condition, original design or technology.

- Automation is only a meaningful advantage if it is cost-effective without affecting safety.

#### Notes

1 - The section above concerning the types of flood rule describes two approaches to water management at a group of dams based on the computer. The first uses a computer at each dam, the second having one computer with remote control facilities. Experience would indicate that the first approach is preferable where the dams are in a linear cascade.

2 - Automatic systems making use of hydrostatic head are very attractive in theory, but in some cases, they may give rise to extremely awkward breakdowns, usually jamming, gate hunting, or obstructions of various sorts. The theory of their response must

diverses. La théorie du comportement de tels automates doit être préalablement étudiée de façon rigoureuse mais les dispositions technologiques ont une très grosse importance pour ce genre d'organe. On recherchera la simplicité de la conception et on veillera à employer des systèmes évitant le coïncement des vannes. Pour parer à l'obstruction de l'alimentation, on n'hésitera pas à installer des grilles d'entrée très largement dimensionnées et auto-nettoyantes. L'envasement des puits des flotteurs sera combattu en adoptant des formes auto-cureuses.

3 - Il convient de souligner les avantages du déversoir à seuil libre qui ne nécessite que très peu de contrôle et d'entretien et semble constituer la solution la plus fiable et la plus simple dans beaucoup de cas. Son usage, très ancien, reste toujours fréquent. Lorsque son adoption est raisonnablement et économiquement possible, il doit être préféré à une solution plus sophistiquée mais dont l'entretien et le dépannage sont plus difficiles.

Il faut toutefois rappeler que le déversoir à seuil libre entraîne une perte de capacité (correspondant à la hauteur de la lame déversante), par rapport à un évacuateur vanné; cette perte de capacité peut être prohibitive dans certains cas.

#### 4.2.2.3 Contraintes et remarques concernant l'exploitation

L'automatisation d'une installation, si elle apporte des avantages certains, ne doit pas faire oublier la nécessité impérative :

- d'un entretien parfait,
- de la possibilité d'un dépannage efficace et rapide,
- d'une méthode d'exploitation "de rechange", explicitement décrite de façon détaillée dans la consignes, pour le cas où l'automate, quel qu'il soit, viendrait à défaillir.

Dans tous les cas, il faut prévoir la possibilité de reprendre en commande manuelle l'exploitation de l'ouvrage. Ainsi, dans certains aménagements conduits totalement par ordinateur, même si le fonctionnement du ordinateur est satisfaisant, l'exploitant reprend systématiquement et à intervalles réguliers l'exploitation de l'ouvrage en conduite manuelle. Ceci permet à l'exploitant de conserver un certain "savoir faire" pour le cas où, le ordinateur venant à défaillir, il importerait de reprendre manuellement les commandes et ceci très rapidement eu égard aux conditions locales, en particulier dans le cas fréquent d'une très faible capacité relative de la retenue.

Cet apprentissage et ce "savoir-faire" peuvent être facilités par la mise en place de simulateurs de conduite qui permettent aux agents d'apprendre tous les types d'exploitation (conduite par ordinateur, reprise en manuel, etc ..) et d'être confrontés à divers types d'événements (arrivées de crues) qui ne se rencontrent que rarement dans la réalité et pour lesquels l'exploitant est donc mal préparé car peu habitué. Les conséquences d'une crue importante pouvant être très graves, il est conseillé de faire en sorte que le personnel de conduite ne soit pas pris au dépourvu lorsqu'une telle situation se présente. La formation par simulateurs de conduite est donc très profitable.

Enfin, le développement de l'automatisation nécessite le contrôle et un entretien spécifique des automates et des télécommandes, même si l'usage des ordinateurs permet un auto-contrôle de certains composants. Par ailleurs, une surveillance accrue est nécessaire sur le gros matériel électro-mécanique. L'automatisation diminue le travail du personnel d'exploitation, mais l'expérience montre qu'une partie de ces économies de personnel doit être consacrée à assurer la surveillance et le bon fonctionnement du matériel en période de crue (notamment les organes d'évacuation). Pour répondre à ce besoin, le quart temporaire constitue souvent une bonne solution. En dehors des périodes de crues, le système d'astreinte est une solution souple et légère.

first be investigated very thoroughly, and the actual constructional arrangements given careful attention. The design should be simple and use systems preventing the gates from jamming. There should be no hesitation about installing screens of very ample size to prevent obstructions, complete with automatic cleaning systems. Sedimentation in float chambers can be overcome by giving them self-cleaning shapes.

3 - It is important to stress the advantages of the ungated overflow spillway which needs very little inspection and maintenance and would appear to be the most reliable and simplest solution in very many cases. Although old in concept, it is still very widely used and should be adopted whenever reasonably and economically possible, in preference to more sophisticated arrangements involving more difficult maintenance and repair.

It must not however be forgotten that the overspill weir involves a loss of capacity (corresponding to the head on the crest), as compared to a gated spillway; the loss may be the determining factor against it.

#### 4.2.2.3 Operational implications

Although offering undisputed advantages, spillway automation must not blind the operator to the absolute need for:

- first-class maintenance,
- arrangements for quick, efficient repairs,
- an alternative operating method explicitly setting out in detail in the dam operating rules the procedures to be followed in the event of a breakdown. This applies to all types of automatic system.

This means that provision must be made for reverting to manual operation. At some schemes controlled entirely by computer, operators regularly and systematically switch over to manual operation even though the computer is operating correctly. This enables the operator to keep his hand in for such time as the computer may break down when manual control must be substituted in response to developing conditions (often because of the small relative capacity of the reservoir).

Such experience can be improved by means of simulators to give the staff the necessary skills in all types of operation (computer operation, manual operation, etc.) and familiarize them with various types of event (such as flood arrival) which they will meet with only rarely in the real world, and are not prepared to deal with. The consequences of a large flood can be very serious, and it is therefore advisable to ensure that the operating staff are not caught unawares. Simulator training is extremely useful.

The adoption of automation is accompanied by the need for specific monitoring of the automatic and remote control equipment, even if computers monitor the performance of the component parts of the control system. Otherwise, the gates and related equipment need more careful monitoring. Although automation reduces the workload on the operating staff, experience shows that some of the staff saving must be ploughed back into keeping watch on how the equipment (especially the outlet works) performs in times of river floods. The temporary shift system is a wise answer to this need in many cases. For the rest of the time, partial attendance is flexible and not cumbersome.

## 5. CONCLUSION

La conception des ouvrages d'évacuation des barrages dépend d'un grand nombre de facteurs : hydrologie, type de barrage, conditions topographiques et géologiques du site, technologies existantes. Il en résulte une grande variété dans les aménagements et l'impossibilité d'énoncer des règles précises et d'application générale. Les réponses à l'enquête ont montré qu'il en est de même pour les types d'exploitation, particulièrement en période de crue.

Mais la diversité des situations ne doit pas dissimuler la tendance à l'utilisation croissante de l'automatisation, des télémesures et des télécommandes, dans l'exploitation des ouvrages d'évacuation des barrages, pratiquement dans tous les domaines de cette activité, même en période de crue.

Cette évolution permet à l'exploitant de s'affranchir de la nécessité de maintenir sur place un service de quart permanent, si ce n'est pour un groupe de plusieurs ouvrages; le personnel correspondant peut alors assumer la responsabilité d'installations complexes telles que centrales hydro-électriques ou stations de pompage. Mais, même dans de tels cas, on constate la tendance à remplacer le service de quart par un système "d'astreinte", le personnel n'étant pas présent en permanence sur le lieu de travail, mais simplement disponible à son domicile grâce à l'utilisation de systèmes de télémesures et téléalarmes. La situation peut être différente en temps de crue où on observe souvent la mise en place de services de quart temporaires (assurés par le personnel d'entretien) mais, même dans ce cas, les automates accomplissent des tâches de plus en plus nombreuses, depuis la détection de l'arrivée des crues jusqu'à la commande des manoeuvres des vannes, en passant par la définition des manoeuvres à effectuer. Il existe des exemples d'aménagements où aucune intervention humaine n'est nécessaire, même en temps de crue sévère, sauf pour s'assurer qu'aucune anomalie ne se produit.

La tendance vers l'automatisation croissante se répercute sur la définition même de l'état de crue : traditionnellement, on distingue un "état de routine", un "état de veille" ou "d'alerte" qui précède la crue et un "état de crue". Dans la mesure où des automates prennent en charge la surveillance et l'approche de la crue, l'"état de veille" tend à disparaître; dans la mesure où des automates peuvent aussi assurer l'élaboration, puis l'exécution des manoeuvres, l'"état de crue" peut presque se confondre avec l'"état de routine".

Quel que soit le mode d'exploitation, les manoeuvres seront d'autant plus judicieuses que les informations reçues seront plus précoces, notamment le débit entrant dans la retenue (surtout si la capacité de cette dernière est faible). On notera à ce propos l'intérêt présenté par les stations de jaugeage implantées en amont des retenues et l'importance de la fiabilité des liaisons assurant la transmission des informations correspondantes.

L'exploitation en période de crue se ramène à un problème classique de régulation, dont le type de solution dépend essentiellement de la capacité de la retenue. Pour des retenues dont le volume est grand ou moyen par rapport au volume des crues, une régulation modérément performante, basée sur la mesure du niveau et de sa vitesse de variation est souvent suffisante. Les vannes automatiques à commande hydraulique (clapets, vannes à flotteur ...) peuvent alors constituer une solution si les débits ne sont pas trop importants et à condition que la conception de l'automate soit convenable (des déboires ont été

## 5. CONCLUSION

The design of a dam and its hydraulic appurtenances is governed by numerous factors: hydrology, dam type, topographic and hydrological potential of the site and existing technology. This means that there is a wide variety of schemes and it is impossible to lay down any precise rules. The replies to the enquiry have shown that the same applies to operating methods, especially in periods of flood.

But the diversity of the situations reported nevertheless concealed a clear trend towards the increasing use of automation, telemetering and remote control in all operations connected with the hydraulic works at dams, including in times of flood.

This relieves the operator of his former obligation of keeping a permanent shift of attendants at the dam, or at least allocating them several dams to watch; the men can be put in charge of complex installations such as hydro-electric powerstations or pump stations. Even in these cases, shift work is tending to give way to a system of partial attendance in normal working hours, with the men on call for the rest of the time at home, provided telemetering and remote alarm systems are installed. The situation can be different in times of flood. A full-shift system is sometimes moved in for the occasion (made up of the maintenance personnel) but even in this case, automatic systems are taking over more and more jobs, from detection of the arrival of a flood to determination and execution of the relevant gate operations. There are examples where no human intervention at all is necessary, even during severe floods, except to keep a watch that there is no malfunctioning.

The trend towards increasing automation is even affecting the definition of a flood: traditionally, the distinction is made between routine work, readiness or standby just before the flood, and flood operation. Insofar as automatic systems are becoming responsible for detecting the approaching flood, the standby period may entirely disappear; if these automatic systems determine what releases are necessary and actually operate the gates, then flood periods will hardly be distinguishable from normal routine operation.

Whatever method of operation is used, the flood will be better routed if information on inflow into the reservoir (especially if the reservoir is small) is received early. In this context, there are advantages in having gauging stations upstream of the reservoir, and it is important for the data transmission links to be reliable.

Dam operation in flood periods is in fact the usual problem of regulation to which the type of solution is closely tied up with the capacity of the reservoir. Where it is large or moderate as compared with the flood volume, approximate regulation based on monitoring the headwater level and the speed at which it changes is often sufficient. Hydraulically operated automatic gates may

observés). Lorsque le volume de la retenue est petit par rapport au volume des crues, la régulation pose des problèmes plus difficiles, les informations doivent être nombreuses et précoces, la détermination et l'exécution des manoeuvres doivent être rapides et un calculateur peut rendre de grands services. Aussi assiste-t-on à une utilisation de plus en plus fréquente de ce type de matériel. Cette utilisation est encore plus intéressante lorsqu'il s'agit d'exploiter une série d'ouvrages construits dans un même bassin, car on peut alors centraliser et coordonner à un poste de commande unique, non seulement l'élaboration des manoeuvres, mais également éventuellement la commande de ces manoeuvres, soit directement, soit par transmission de paramètres de consignes. On notera en outre qu'un doublement de calculateur et un logiciel approprié permettent un contrôle croisé assurant une bonne sécurité de fonctionnement du système. Les difficultés résident alors plus dans l'adéquation du logiciel que dans le matériel.

L'automatisation et l'utilisation de télémessures et de télécommandes ont cependant quelques contreparties. Compte tenu des exigences de sécurité, il convient tout d'abord que les équipements soient plus redondants que dans les systèmes classiques de régulation, y compris l'alimentation en énergie. D'autre part, on ne peut supprimer complètement l'intervention du personnel, notamment en temps de crue ; dans la plupart des cas, il est nécessaire qu'un personnel relativement qualifié surveille le fonctionnement du matériel de façon à parer aussitôt que possible aux défaillances éventuelles. En particulier, les consignes d'exploitation doivent définir de façon précise les opérations à effectuer pour la reprise d'une exploitation en marche "manuelle" en cas de défaillance d'automates ou de transmissions.

Enfin, l'utilisation de ces technologies modernes n'est concevable que si le matériel est parfaitement entretenu et peut être réparé ou remplacé rapidement, ce qui suppose la présence d'équipes d'exploitation d'un bon niveau de technicité. On ne saurait trop insister sur ce point.

D'une façon générale, d'ailleurs, le principal élément de sécurité de l'exploitation des ouvrages hydrauliques est un bon entretien. Ceci nécessite des contrôles systématiques de tous les organes, aussi bien des ouvrages de génie civil que du matériel électromécanique. La technique permet même, désormais, l'inspection des ouvrages immergés par plongeurs ou sous-marins (habités ou télécommandés). Il n'est cependant pas nécessaire, en général, et compte tenu du coût de ces visites, de procéder à de telles inspections d'ouvrages immergés à des fréquences très grandes. On adopte en général des périodicités de 5 à 10 ans.

Il apparaît de toutes façons primordial de procéder régulièrement à des essais de fonctionnement en eau (et si possible sous la charge maximale et pour le débit total) des ouvrages de vidange profonds. On s'assure ainsi de leur bon fonctionnement, ce qui donne confiance à l'exploitant qui n'hésite plus à les employer en cas de nécessité.

Il est en général plus difficile de procéder à des essais systématiques des vannes d'évacuation des crues. Leur entretien et leur contrôle par l'exploitant n'en sont que plus nécessaires.

En conclusion, on peut dire paradoxalement que les meilleurs ouvrages hydrauliques sont ceux qui n'existent pas ; de ce point de vue, les évacuateurs de crue constitués par des déversoirs à seuil libre présentent tous les avantages d'une bonne régulation et d'une sécurité de fonctionnement sans égale. Leur domaine d'application est évidemment limité, mais on peut recommander leur utilisation chaque fois qu'elle n'entraînera pas des dépenses prohibitives.

be suitable where discharge is not too great, provided the automatic system is properly designed (mishaps have occurred). When the reservoir is small compared to floods, regulation becomes more difficult, more data must be obtained earlier, gate operation must be quickly calculated and performed, and computers can be very useful for this purpose. One therefore observes increasing use of this type of equipment. It is all the more advantageous when a series of dams on a single basin must be operated, because gate operation can be coordinated from a single control centre (and the gates may even be actually opened from that centre, either directly or by remote setting of threshold values). Computer redundancy and adequate software provides for a constant cross-check that each system is functioning correctly. It is not so much the hardware as program design that is the problem.

Automation, telemetering and remote control do have shortcomings. Operational safety requires that more redundancy must be built into the system, including alternative power supplies, than with conventional regulation systems. Furthermore, human involvement cannot be entirely dispensed with, especially during floods. In most cases, it is necessary for quite skilled personnel to keep a watch on the equipment, and take remedial action in the event of faults. Rules must clearly state in detail what action must be taken to switch over to manual operation if there is a breakdown in the control system or communications channels.

Lastly, the use of such modern technology is only conceivable with a high standard of maintenance and availability of skilled service for prompt repairs. This implies having skilled staff. It is impossible to overstress this point.

Generally speaking, the principal factor in operational safety for hydraulic structures is proper maintenance. This calls for systematic inspection of all parts, both the civil works and the electrical and mechanical equipment. Means are now available for inspecting underwater parts, by diver or submarine (manned or remotely controlled). However, such inspection of underwater parts is costly and it is not generally necessary too often. Inspections are generally made every 5 to 10 years.

An overriding requirement is for regular testing (preferably under maximum head and maximum discharge conditions) of the deep outlets. This provides a check on the operation of the gates and conduits, and gives the operating staff enough confidence so that they will not hesitate to use them when needed.

It is generally more difficult to make systematic tests of the spillway gates. This makes maintenance and inspection even more important.

We shall conclude with the paradox that the best hydraulic appurtenances are those that do not exist: spillways in the form of free overflow weirs have all the advantages of good regulation and unequalled reliability. They cannot of course be used in every case, but they can be recommended whenever their cost would not be prohibitive.



---

## ANNEXES

---

1. Barrage mobile totalement automatique :  
*Caderousse sur le Rhône (France)*
2. Exploitation globale et intégrée d'une chaîne d'ouvrages :  
*Sonohara sur la Katashina (Japon)*
3. Solution idéale du déversoir à seuil libre :  
*Mattmark sur la Saaser Visp (Suisse)*
4. Exploitation manuelle assortie d'un système de vannes :  
*Aldeadavila sur le Duero (Espagne)*
5. Exploitation d'un grand ouvrage comportant une retenue très importante :  
*Hendrik Verwoerd sur le fleuve Orange (Afrique du Sud)*
6. Exploitation d'un barrage sur un cours d'eau soumis à des crues soudaines et puissantes en climat tropical :  
*Luis L. Leon (El Granero) sur le Rio Conchos (Mexique)*
7. Exploitation d'un barrage à buts multiples appartenant à une grande organisation :  
*Folsom sur l'American River (Californie (États-Unis))*

---

## APPENDICES

---

1. Fully automatic barrage,  
*Caderousse on the Rhone River, France*
2. Integrated operation of a cascade,  
*Sonohara on the Katashina River, Japan*
3. The ideal uncontrolled spillway solution,  
*Mattmark on the Saaser Visp River, Switzerland*
4. Manual operation combined with automatic gate system,  
*Aldeadavila on the Duero River, Spain*
5. Operation of a large dam with a very large reservoir :  
*Hendrik Verwoerd on the Orange River, South Africa*
6. Tropical climate, large flash floods.  
*Luis L. Leon (El Granero) on the Rio Conchos, Mexico*
7. Multi-purpose dam run by a very large operator,  
*Folsom Dam on the American River, USA*

## **ANNEXE 1. BARRAGE MOBILE TOTALEMENT AUTOMATIQUE : CADEROUSSE SUR LE RHONE (FRANCE)**

La Compagnie Nationale du Rhône (C.N.R.) a reçu la concession de l'aménagement du Rhône (FRANCE) pour tirer le meilleur parti du fleuve du triple point de vue des forces hydrauliques, de la navigation et des utilisations agricoles de l'eau. L'aménagement de CADEROUSSE appartient au groupe de 12 aménagements en chaîne équipant le Rhône entre Lyon et la mer Méditerranée et réalisés par la C.N.R. depuis 1945 (figures 1-1 et 1-2).

La productibilité annuelle de l'ensemble de ces ouvrages est de 12,7 TWh. Ils sont tous équipés de barrages mobiles et, à l'exception d'un seul, ils comportent un canal de dérivation sur lequel est implantée l'usine; pour l'unique aménagement dépourvu de canal l'usine est accolée au barrage. Il s'agit d'ouvrages de basse chute comprise entre 6,1 m (Vaugris) et 22 m (Donzère-Mondragon). Les barrages, les écluses, les retenues et les canaux sont exploités par la Compagnie Nationale du Rhône, les usines sont pilotées par Electricité de France.

Au niveau de Caderousse, l'apport annuel moyen du Rhône est de 41 000 hm<sup>3</sup>. Dix jours par an, le débit dépasse 3 800 m<sup>3</sup>/s. Le débit de la crue décennale est de 7 200 m<sup>3</sup>/s.

L'usine profitant de la remontée du niveau créée par le barrage, utilise une chute de 9 m. Six groupes bulbes sont installés, fournissant une puissance totale de 156 MW pour un débit de 2 400 m<sup>3</sup>/s. La productibilité est de 860 GWh en année moyenne (figure 1-3).

Le barrage comporte huit passes de 22 m de largeur, fermées par des vannes segments de 12,10 m de hauteur. Quatre vannes sont équipées de volets déversants. Le barrage est prévu pour évacuer un débit de 12 500 m<sup>3</sup>/s correspondant à la crue millénaire (figures 1-4 et 1-5). Le volume de la crue de fréquence annuelle correspond approximativement à 200 fois le volume utile de la retenue. L'ouvrage est donc très sensible aux crues.

### EXPLOITATION

#### Objectifs

Un Cahier des Charges fixe les objectifs de l'exploitation. Les consignes d'exploitation font référence au niveau de la retenue en un point de réglage situé au point kilométrique 203,2 à 10 km en amont du barrage.

Si  $0 < Q < 3\ 850$  m<sup>3</sup>/s : la cote du point de réglage doit être inférieure ou égale à 35,5 m.

Si  $3\ 850$  m<sup>3</sup>/s  $\leq Q < 6\ 000$  m<sup>3</sup>/s : la cote du point de réglage s'élève de façon à être égale à celle de la ligne d'eau avant aménagement.

Si  $Q > 6\ 000$  m<sup>3</sup>/s : la cote du point de réglage est fixée à 38,40 m.

## APPENDIX 1. FULLY AUTOMATIC BARRAGE, *CADEROUSSE ON THE RHONE RIVER, FRANCE*

The Compagnie Nationale du Rhône is the organization responsible for running the Rhône river schemes to realize the maximum benefit from the three-fold standpoint of hydro power, navigation and agricultural water use. The Caderousse scheme is one of a cascade of 12 on the Rhône between Lyons and the Mediterranean built by CNR since 1945 in France (Figs. 1-1 and 1-2).

Average aggregate generation from these schemes is 12.7 TWh per year. They are all gated barrage structures and all have the powerstation on a branch diversion running parallel to the main river except for one, where the power house is continuous with the dam structure. They are all low-head schemes between 6.1m (Vaugris) and 22m (Donzere-Mondragon). The barrage, locks, ponds and canals are run by the Compagnie Nationale du Rhône, while the powerstations are controlled by Electricité de France.

Average annual runoff in the Rhône at Caderousse is 41 000 hm<sup>3</sup>. River flow is more than 3 800 m<sup>3</sup>/s for 10 days per year, and the 10-year flood discharge is 7 200 m<sup>3</sup>/s.

The Caderousse barrage raises the turbine head to 9 metres. The power house has 6 bulb generators with an aggregate capacity of 156MW for 2 400 m<sup>3</sup>/s. Generation is 860GWh in a normal year (Fig. 1-3).

The barrage has eight radial gates, 22m wide and 12.10m high. Four of these gates have flaps on top. The barrage is designed to discharge a maximum of 12 500 m<sup>3</sup>/s, representing the thousand-year flood. The flood of yearly return period represents approximately 200 times the live pondage, making the scheme very sensitive to floods.

### OPERATION

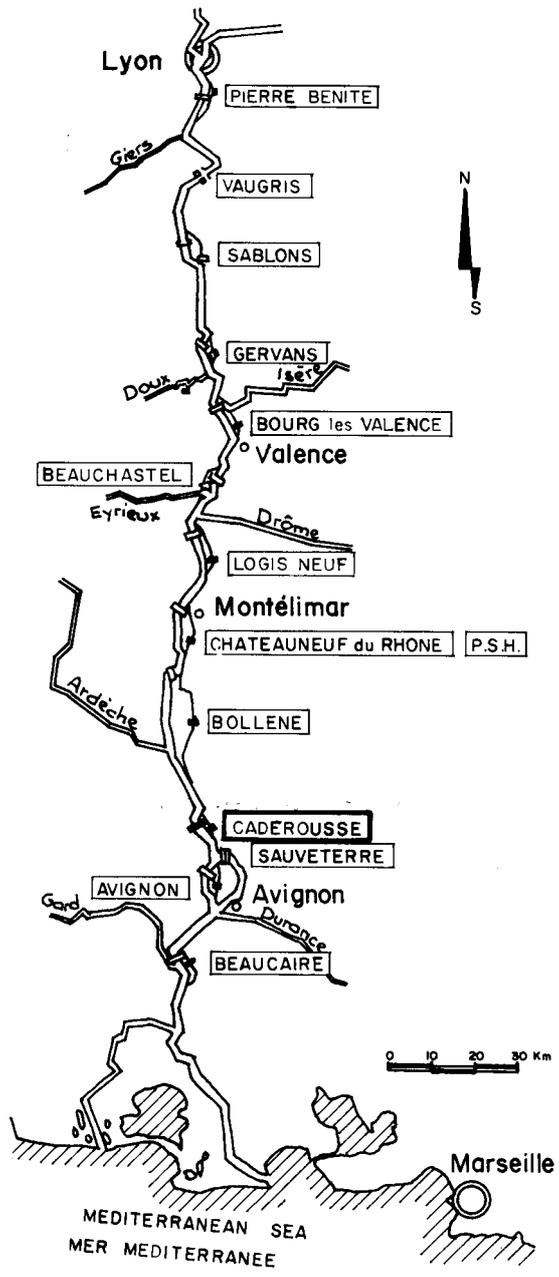
#### Objectives

The rule for operation refers to a set water level at a control point 10km upstream of the barrage.

For river flows up to 3 850 m<sup>3</sup>/s, the water level at the control point must not be more than elevation 35m.

Up to 6 000 m<sup>3</sup>/s, the water level is allowed to rise until it reaches the natural level before the scheme was built.

For streamflows in excess of 6 000 m<sup>3</sup>/s, the water level at the control point must not exceed elevation 38.40m.



**Compagnie Nationale du Rhone ( C N R )  
Electricité de France ( E D F )**

Fig. 1

Usines hydro-électriques du Rhône, de Lyon à la mer  
Hydro-electric powerstations on the Rhône river, from Lyon to the sea

POWER STATION	River	Catchment area (km <sup>2</sup> )	Max. discharge capacity (m <sup>3</sup> /s)	Max. turbine discharge (m <sup>3</sup> /s)	Max. gross head (m)	Turbines		Installed capacity (MVA)	Average yearly generation (GWh)	Year of commissioning	
						No	Type				
NOM DE LA CENTRALE	Cours d'eau	Bassin versant km <sup>2</sup>	Crue max envisagée m <sup>3</sup> /s	Débit max. turbinable m <sup>3</sup> /s	Chute brute max. m	Groupes		Puissance installée MVA	Productibilité annuelle GWh	Année de mise en service	
						Nb	Nature				
GENISSIAT	Rhône	10 910	2 000	720	70,20	6	Fv	425,0	1 660	1948	
SEYSSSEL	Rhône	11 300	2 000	600	8,75	3	K	45,0	175	1951	
PIERRE-BENITE (barrage)	Rhône	50 200	7 500	1 380	12,80	4	B	80,8	530	1966	
		-	-	10	9,50	1	B	0,9	5,2	1972	
VAUGRIS	Rhône	51 700	7 500	1 400	6,70	4	B	65,0	330	1980	
SABLONS	Rhône	52 000	7 500	1 600	15,00	4	B	165,0	880	1978	
GERVANS	Rhône	53 850	7 500	1 660	9,30	4	B	120,0	700	1971	
BOURG-les VALENCE	Rhône	66 390	9 500	2 300	12,40	6	K	198,0	1 100	1968	
BEAUCHASTEL (barrage)	Rhône	66 500	9 500	2 400	13,35	6	K	210,0	1 205	1963	
		-	-	6,5	12,70	1	B	1,0	4,8	1963	
LOGIS-NEUF	Rhône	70 450	10 000	2 300	13,65	6	K	215,0	1 190	1960	
CHATEAUNEUF	Rhône	70 700	10 000	2 200	18,50	6	K	300,0	1 640	1957	
BOLLENE	Rhône	70 800	12 000	1 900	26,00	6	K	348,0	2 000	1952	
CADEROUSSE	Rhône	74 000	12 500	2 400	9,50	6	B	156,0	860	1975	
AVIGNON	} 1)	Rhône	78 600	7 000	1 600	9,95	4	B	120,0	935	1973
SAUVETERRE		Rhône	-	5 500	800	9,40	2	B	60,0		
BEAUCAIRE		Rhône	93 400	14 000	2 490	13,60	6	B	180,0		
						75		2 689,7	14 545		

EDF  
CNR

Fig. 1-2

Usines hydro-électriques sur le Rhône  
Hydro-electric powerstations on the Rhone river

Fv. Turbine Francis verticale  
K. Turbine Kaplan  
B. Groupe bulbe

Fv. Vertical shaft Francis turbine  
K. Kaplan turbine  
B. Bulb set

1. Ces deux usines utilisent en parallèle la même chute

1. These two powerstations operate in parallel

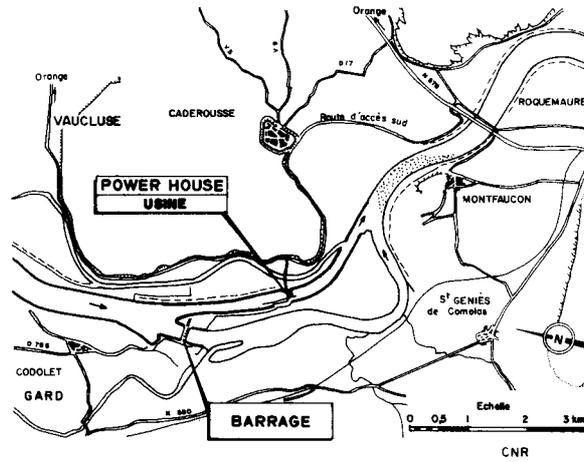


Fig. 1-3

Caderousse

Plan d'ensemble de l'aménagement  
General layout of the project

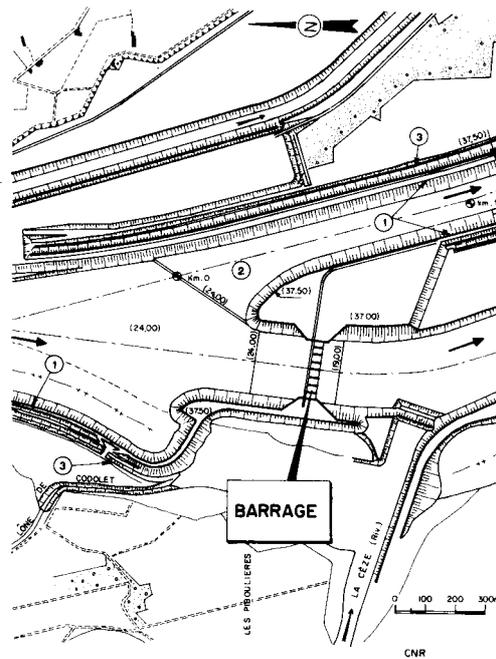


Fig. 1-4

Caderousse

Plan général des abords du barrage  
Layout of the barrage

- 1. Digues
- 2. Canal d'aménée
- 3. Contre-canal de drainage

- 1. Dykes
- 2. Head race
- 3. Drainage ditch



Par ailleurs, la variation du niveau ne doit pas dépasser 13 centimètres en une heure (en plus ou en moins).

L'objectif est de produire le maximum d'énergie sans enfreindre les consignes qui résultent de l'obligation de ne pas aggraver les crues.

Les éclusées :

En exploitation normale, on procède à des éclusées afin de transférer de l'énergie d'heures creuses en heures pleines. A cet effet, on vidange légèrement la retenue le jour et on la remplit la nuit.

Automatisation de l'Exploitation

Electricité de France et la Compagnie Nationale du Rhône ont décidé d'automatiser au maximum l'exploitation de cette chaîne de 12 usines, y compris le fonctionnement des barrages en crue. Dans ce but, un ordinateur a été installé dans chaque usine, et l'ensemble de la chaîne est surveillé à partir d'un Poste de Surveillance Hydraulique (voir ci-après et fig. 1-6). Ce Poste de Surveillance, équipé d'un ordinateur central de grande capacité, est installé à Châteauneuf.

Exploitation en période de crue

L'état de crue est décrété quand le débit à Châteauneuf-sur-Rhône, au milieu de la chaîne d'usines, dépasse 3 000 m<sup>3</sup>/s. La conduite de l'exploitation est totalement intégrée et est effectuée par un ordinateur propre à chaque aménagement de la chaîne d'usines (Voir schéma fig. 1-8).

Le ordinateur reçoit automatiquement de nombreuses informations :

- débits aux barrages en amont
- débits à des stations de jaugeage en amont
- niveaux en plusieurs points de la retenue
- $\frac{dN}{dt}$
- Débit aval
- débit évacué au barrage
- débit turbiné

L'automate reçoit, traite et compare en temps réel ces différents paramètres, en déduit le débit entrant théorique et le compare au débit réel ; il détermine les manoeuvres à effectuer et en commande l'exécution.

Personnel

Le système utilisé est celui de l'astreinte. Neuf personnes sont affectées à l'exploitation de l'usine et du barrage. Il y en a en permanence trois en astreinte, correspondant à des niveaux différents de responsabilité. Ce personnel est présent à l'usine ou à son domicile. Il n'y a donc, en général, personne sur le barrage.

Ce personnel assure l'entretien et surveille le bon fonctionnement du ordinateur et de toutes les installations.

Poste de Surveillance Hydraulique (P.S.H.) :

Dans ce poste où sont centralisées toutes les informations hydrauliques et énergétiques relatives aux 12 aménagements du Bas-Rhône, un surveillant est en place 24 heures sur 24.

A further condition is that the water level must not rise or fall faster than 13cm per hour.

The object is to maximize energy output without infringing the rules for not aggravating floods.

#### Overnight storage

Normal operation makes use of overnight storage to carry off-peak energy over to peak hours. Pondage is turbined by drawing down the headwater level slightly, and making it up at night.

#### Automated operation

Electricité de France and Compagnie Nationale du Rhône have decided on a high level of automation for these 12 barrages, even in periods of river flood. A computer is provided in each powerstation and the whole cascade is monitored from the Hydro Control Centre (see below and Fig. 1-6) with its own large computer at Chateauneuf-sur-Rhône.

#### Operation during floods

A flood event is deemed to occur when discharge at Chateauneuf-sur-Rhône in the middle of cascade is more than 3 000 m<sup>3</sup>/s. Operation of the scheme is fully integrated, each plant being controlled by its own computer operating in real-time mode (Fig. 1-8).

The computer automatically receives information on :

- streamflow at barrages upstream
- streamflows at gauging stations upstream
- water levels at various headwater points
- rate-of-change of water levels at various headwater points
- outflow
- spillage
- turbine discharge

The computer receives, processes and compares these parameters, calculates the theoretical inflow and compares it with the actual flow; it then determines what gate operations are needed, and performs these operations.

#### Staff

The duty call staffing system is used. Nine individuals are allocated to running the powerstation and barrage. There are 3 men permanently on duty, with different levels of responsibility, in the powerstation or on call at home. This means the barrage is usually unattended.

These men are responsible for maintenance and keeping a watch on the computer and the rest of the installations.

#### Hydro Control Centre

The Hydro Control Centre, which centralizes all water and electricity information on the 12 schemes on the Lower Rhône, is manned round the clock.

Comme on l'a vu ci-dessus, le P.S.H. est équipé d'un ordinateur. L'opérateur a à sa disposition un écran-clavier sur lequel il peut faire apparaître toutes les informations (figure 1-7) : débits d'apport du Rhône et de ses affluents, débits évacués aux barrages et usines, niveaux aux divers points de réglage, données hydro-météorologiques diverses. Le ordinateur reçoit toutes ces informations automatiquement. Un tableau synoptique général double ce dispositif en ce qui concerne les informations essentielles. Le même écran clavier permet à l'opérateur de commander les éclusées de toutes les usines. Des platines de secours permettent cette commande en cas de défaillance du système principal.

Les missions essentielles du P.S.H. sont les suivantes :

- a/ Surveillance des niveaux et des débits,
- b/ Prédiction des débits,
- c/ Elaboration et affichage des programmes et coordination des éclusées en accord avec le Service des Mouvements d'Energie.
- d/ Coordination de l'exploitation en cas de crue ou de manoeuvre exceptionnelles.

En cas de défaillance d'un ordinateur local ou d'un matériel, les différentes alarmes sont envoyées au P.S.H. et au personnel d'astreinte sur place. Le rôle du chef de quart est alors de vérifier que le personnel d'astreinte a bien été averti à temps.

#### Transmissions

Les informations provenant des divers postes de mesures et devant être transmises à Châteauneuf sont envoyées par circuits Haute Fréquence, liaisons hertziennes ou lignes d'abonnement téléphoniques automatique.

La transmission entre les usines et le P.S.H. est réalisée par lignes téléphoniques louées.

Enfin, les liaisons barrage-usine-points de réglage sont assurées par deux lignes souterraines spécifiques séparées.

Les vagues peuvent fausser les mesures de niveau, ce qui est particulièrement gênant dans ces aménagements où le réglage du niveau doit être très précis. Pour réduire cet inconvénient, la mesure est continue et le ordinateur effectue un lissage, ce qui permet d'obtenir une précision suffisante.

#### Prévention des défaillances

Dans le cas où se produit une perte d'informations excessive, l'alarme se déclenche et l'exploitation doit passer en conduite manuelle. Il en est de même si des informations sont trop éloignées de la réalité (le ordinateur teste les réponses) ou si le ordinateur tombe lui-même en panne.

De toutes façons, un dispositif automatique rustique installé sur le barrage et totalement indépendant effectue des manoeuvres de sauvegarde si le niveau de la retenue est trop bas ou trop haut.

Le débit de la crue millénaire peut encore être évacué avec 7 vannes sur 8 au barrage et 3 groupes sur 6 à l'usine.

L'alimentation électrique est triple : réseau général, usine et groupe électrogène thermique.

#### Essais

Des visites régulières des ouvrages immergés sont effectuées par des plongeurs. Les vannes peuvent être batardeées et visitées à sec. Il n'y a pas d'essai systématique des vannes du barrage car l'automate utilise toutes les vannes pour déverser les débits de crue. Elles fonctionnent donc régulièrement (60 jours par an en moyenne).

As already described, the Centre has its own computer with a monitor and keyboard on which the operator can call up any information he requires (Fig. 1-7), such as streamflow from the Rhône and tributaries, barrage and powerstation outflow, water levels at control points or details of precipitation and streamflows; all this data being fed automatically into the computer as it arrives. Essential data is also displayed on the mimic board. The operator can control all the barrages from the same keyboard, and he has back-up controls in case of malfunction.

The main functions of the Hydro Control Centre are to :

- a/ Monitor water levels and flows
- b/ Predict streamflow
- c/ Prepare and display programmes and coordinate overnight storage procedure in consultation with the Load Dispatching Department
- d/ Coordinate operation during floods and exceptional operations.

Alarms on in-plant computer and gate faults are relayed to the Hydro Control Centre and the staff at the powerstation. The shift engineer must check that the powerstation staff have been notified in time.

#### Communications

Data from measuring instruments to Châteauneuf are sent by high-frequency lines, radio or automatic public telephone lines.

Rented telephone lines are used between the powerstations and the Hydro Control Centre.

Two separate dedicated underground lines are used between the barrage, power house and control points.

Since waves can adversely affect water level measurements, especially on these schemes where very precise control is necessary, measurements are taken continuously and the computer smooths out the data to obtain sufficient accuracy.

#### Fault prevention methods

One type of fault is the loss of information. If losses are excessive, there is an alarm and manual operation takes over. The same procedure is followed if the data is evidently anomalous (the computer tests responses) or if the computer breaks down.

A totally independent simple automatic device at the barrage controls the emergency gate operation if the level is too low or too high.

The 1000-year flood can be passed with 7 gates out of 8 at the barrage and 3 turbines out of 6 at the powerstation.

There are three electricity supply systems : mains, powerstation and i.c. standby generator.

#### Inspection and testing

Underwater parts are regularly inspected by diver. The gates can also be dewatered for inspection with stoplogs. The barrage gates are not systematically tested because all the gates are automatically used for spilling floods and so operate regularly (60 days per year on average).

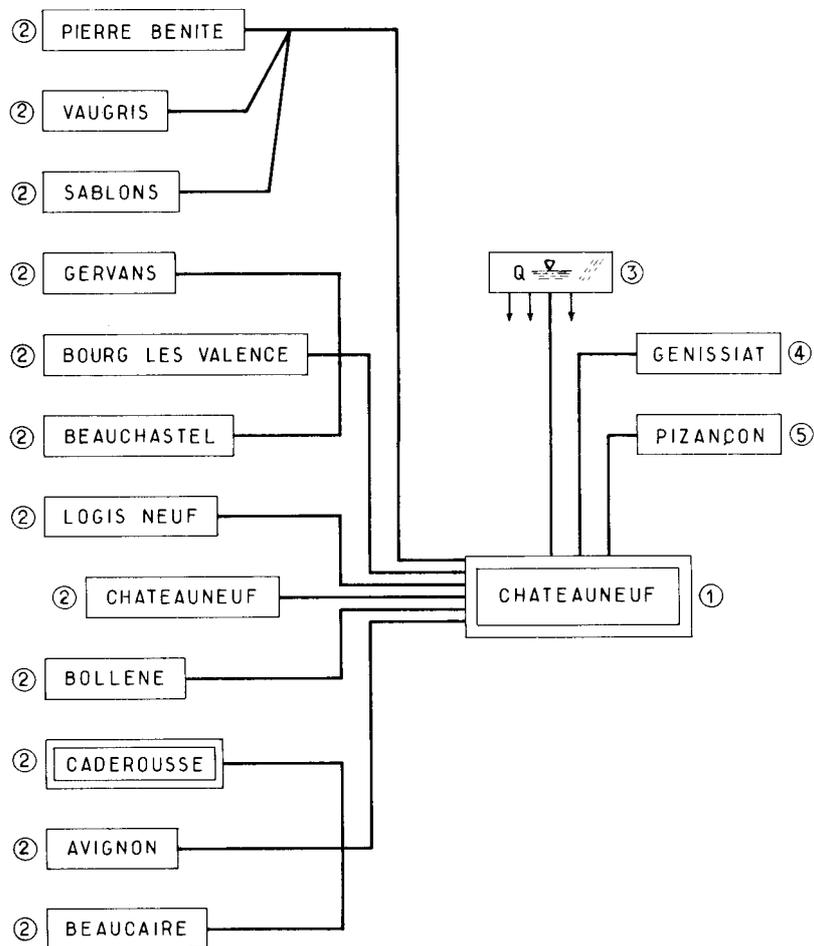


Fig. 1-6

Aménagement du Rhône - Schéma général des liaisons

Rhône Project - Communication lines

- |   |  |
|---|--|
| 1. Poste de Surveillance Hydraulique de Châteauneuf                 | 1. Châteauneuf Hydro Control Centre          |
| 2. Chutes aménagées sur le Rhône                                    | 2. Rhône powerplants                         |
| 3. Mesures hydrométéorologiques et de niveaux                       | 3. Flow and water level gauges               |
| 4. Postes de contrôle de Genissiat sur le Haut-Rhône et de Pizançon | 4. Control Centres, Genissiat (on Rhône) and |
| 5. Sur l'Isère  | 5. Pizançon (on Isère River)                 |

En conclusion, l'exploitation des aménagements du Bas-Rhône tel que celui de Caderousse est totalement automatique et présente de nombreux avantages sur le plan de la précocité des informations, de la rapidité d'action et de la précision des manoeuvres. L'automatisation permet de prendre en compte de nombreux paramètres et d'obtenir une exploitation beaucoup plus performante. Mais cela nécessite une surveillance constante, un dépannage rapide et efficace en cas de besoin et un entretien sérieux et régulier.

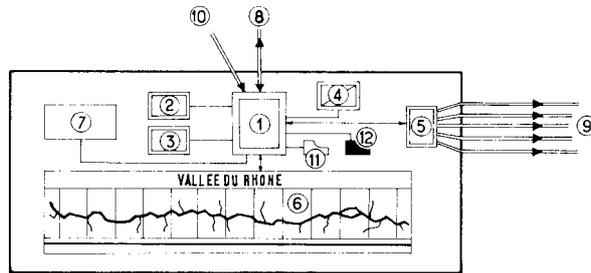


Fig. 1-7

Structure du Poste de Surveillance Hydraulique de Châteauneuf  
Diagram of the Châteauneuf Hydro Control Centre

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Calculateur                               | 1. Computer                          |
| 2. Écran clavier de maintenance              | 2. Maintenance terminal              |
| 3. Écran clavier de l'opérateur              | 3. Operations terminal               |
| 4. Platine de secours                        | 4. Standby control board             |
| 5. Poste central                             | 5. Remote control main equipment     |
| 6. Grand tableau synoptique                  | 6. Large mimic board                 |
| 7. Table traçante                            | 7. Plotter                           |
| 8. Vers l'usine de Châteauneuf               | 8. To Châteauneuf powerstation       |
| 9. Vers les autres usines du Rhône           | 9. To other Rhône powerplants        |
| 10. Arrivée des mesures hydrométéorologiques | 10. From flow and water level gauges |
| 11. Machine à écrire de maintenance          | 11. Maintenance typewriter           |
| 12. Imprimante                               | 12. Operations typewriter            |

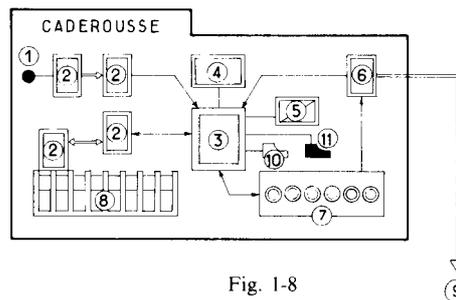


Fig. 1-8

Structure des équipements de Caderousse  
Diagram for Caderousse powerplant control (local equipment)

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. Mesures de niveaux                        | 1. Water level measurements       |
| 2. Télétransmissions                         | 2. Telecommunication equipment    |
| 3. Calculateur                               | 3. Computer                       |
| 4. Écran clavier                             | 4. Terminal                       |
| 5. Platine de secours                        | 5. Standby control board          |
| 6. Poste asservi                             | 6. Remote control local equipment |
| 7. Usine                                     | 7. Powerstation                   |
| 8. Barrage                                   | 8. Barrage                        |
| 9. Vers le poste de surveillance hydraulique | 9. To Hydro Control Centre        |
| 10. Machine à écrire                         | 10. Maintenance typewriter        |
| 11. Imprimante                               | 11. Operations typewriter         |

Operation of the Lower Rhône schemes like Caderousse is fully automatic with many advantages as regards early warning, speed of reaction and precision of operation. Automation can handle a large amount of data, greatly increasing performance. It does however require constant supervision, quick and efficient repairs whenever needed, and conscientious, regular maintenance.

## **ANNEXE 2. EXPLOITATION GLOBALE ET INTÉGRÉE D'UNE CHAÎNE D'OUVRAGES :**

### ***SONOHARA SUR LA KATASHINA (JAPON)***

Le barrage de SONOHARA au Japon est construit sur la rivière Katashina, affluent du fleuve Tone. Celui-ci coule vers l'est pour se jeter dans l'Océan Pacifique, un peu au nord de Tokyo. Le bassin amont du Tone est aménagé grâce à six barrages (FUJIWARA, AIMATA, SONOHARA, YAGI SAWA, SHIMOKUBO, KUSAKI). Les objectifs de ces aménagements sont la production d'électricité, la défense contre les crues et l'irrigation.

Le barrage de SONOHARA est un barrage-poids en béton de 76,5 m de hauteur et de 127 m de longueur en crête. Le volume de la retenue est de 20,3 hm<sup>3</sup> dont 14,1 hm<sup>3</sup> utiles. L'apport annuel de la rivière est de 316 hm<sup>3</sup> (pour 493,9 km<sup>2</sup> de bassin versant), ce qui correspond à un temps moyen de remplissage de 16 jours. L'ouvrage appartient au gouvernement japonais.

#### **Matériel :**

Trois évacuateurs en charge traversent le barrage à sa base. Ils sont obturés par des vannes de 3,56 m x 5 m fonctionnant sous 51,45 m de charge. Le débit maximal susceptible d'être évacué par ces vannes est de 1 550 m<sup>3</sup>/s. Quatre évacuateurs de surface vannés (7,5 m x 8,06 m) sont également installés sur la crête du barrage. Enfin, il existe une vidange de fond pouvant évacuer 12 m<sup>3</sup>/s.

#### **Essais - Entretien :**

Il existe un programme annuel de "maintenance", comprenant des inspections, contrôles, travaux d'entretien et essais des différents équipements, propre à garantir la sécurité du barrage et de ses ouvrages annexes.

#### **Exploitation :**

Les problèmes posés par l'exploitation des aménagements du bassin du Tone sont assez particuliers. En effet, en raison de la configuration géographique, il n'est pas possible d'avoir en tête de l'aménagement un réservoir important susceptible d'emmagasiner et d'amortir les crues. Les différentes retenues ont de faibles capacités et il convient donc de "gérer" au mieux les déversements à chaque barrage. Les crues se produisent en été et représentent une vingtaine de jours par an.

#### **But des aménagements :**

Le schéma général des aménagements est représenté par la figure 2-1. La régulation des crues se fait comme indiqué : le chiffre à l'amont de chaque ouvrage représente le débit entrant, le chiffre à l'aval représente le débit déversé pour la configuration de crue de référence qui sert de base au calcul des débits sortants.

Le but final est donc d'amortir la crue de telle sorte que le débit à YATTAJIMA à l'aval soit de 14 000 m<sup>3</sup>/s au lieu de 17 000 m<sup>3</sup>/s dans l'état naturel du bassin.

## APPENDIX 2. INTEGRATED OPERATION OF A CASCADE,

### *SONOHARA ON THE KATASHINA RIVER, JAPAN*

The Sonohara dam in Japan lies on the Katashina River, one of the tributaries to the Tone River which flows eastward to the Pacific Ocean. The project of the upper basin of the Tone River consists of six dams; Fujiwara, Aimata, Sonohara, Yagisawa, Shimokubo and Kusaki. The purposes of the Sonohara dam, a concrete gravity dam 76.5 m high and 127.6 m long at the crest, are flood control, power generation and irrigation. Gross storage capacity is 20.3hm<sup>3</sup> with an effective capacity of 14.1 hm<sup>3</sup>. Annual runoff is 316hm<sup>3</sup> for the catchment area of 493.9hm<sup>2</sup>, and it takes 16 days to fill the reservoir. The dam is owned by the Japanese Government..

#### Gates

There are three Conduit Gates at the base of the dam controlled by 3.56 m x 5 m gates under a head of 51.45 m. Maximum discharge capacity of these gates is 1 550 m<sup>3</sup>/s. There are also four Crest Gates (7.5 m x 8.363 m) at the dam crest. Lastly, a Howell Bunger Valve at the bottom of the dam has a discharge capacity of 12 m<sup>3</sup>/s.

#### Maintenance

This is executed to achieve the purposes of this dam every year. That is, there are tasks related to the facilities management such as inspection, maintenance and repair for securing the safety of the dam body and areas around the reservoir, and the proper functions of various facilities. The purposes of dam construction can be achieved only when all of these tasks are performed safely and reliably.

#### Operation

Operational problems in the Tone basin are quite unusual. Because of the geography, it is not possible to have a large storage reservoir at the head of the scheme to control floods. The individual reservoirs are small and spillage from each dam must be managed to the best effect. Floods occur in summer, covering about 20 days per year.

#### Purpose of development

The general arrangement of the dams is shown in Fig. 2-1. Flood regulation operates as shown, the figure on the upstream side of each dam representing the inflow, and the figure on the downstream side being the spillage for the reference flood pattern used as a basis for calculating outflow.

The ultimate object is to control floods so that flow at Yattajima at the downstream end is 14 000 m<sup>3</sup>/s instead of the natural 17 000 m<sup>3</sup>/s.

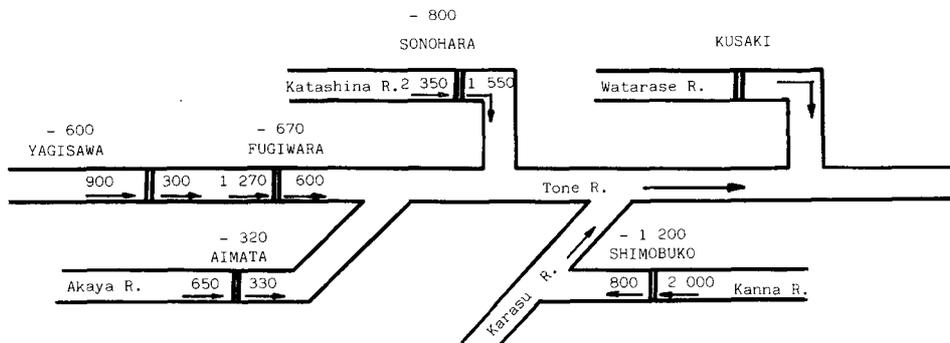


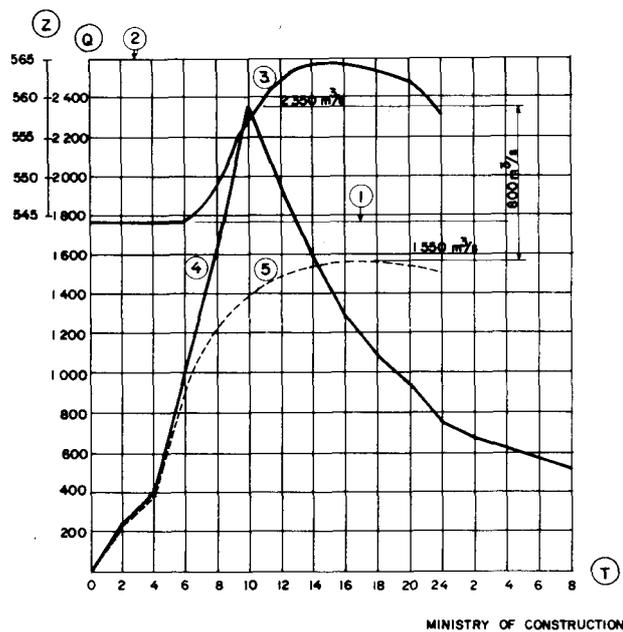
Fig. 2-1

Aménagement de la rivière Tone - Diagramme de contrôle des crues

Tone river project - Flood control diagram

R : Rivier  
DAM  
Flows in m<sup>3</sup>/s

R : Rivière  
BARRAGE  
Débits en m<sup>3</sup>/s



- T. Temps (en heures)  
Z. Niveau du réservoir  
Q. Débits (m<sup>3</sup>/s)
1. Niveau minimum d'exploitation : 543,40
  2. Niveau maximum de retenue : 565
  3. Niveau de la retenue
  4. Débit entrant
  5. Débit évacué
- Débit entrant < 1 000 m<sup>3</sup>/s : débit évacué sans laminage
  - 1 000 m<sup>3</sup>/s < débit entrant < 2 350 m<sup>3</sup>/s : le débit évacué est : 1 000 + (débit entrant - 1 000) × 0,296 m<sup>3</sup>/s
  - Au-delà, les vannes de surface sont ouvertes

- T. Time (hours)  
Z. Reservoir water level (m)  
Q. Flows (m<sup>3</sup>/s)
1. Low water level : 543.40
  2. Maximum water level : 565
  3. Water level
  4. Inflow
  5. Outflow

- Inflow < 1 000 m<sup>3</sup>/s : discharge is free flow
- 1 000 m<sup>3</sup>/s < Inflow < 2 350 m<sup>3</sup>/s : discharge is : 1 000 + (Inflow - 1 000) × 0.296 m<sup>3</sup>/s
- After this, surface gates are opened

Fig. 2-2

Barrage de Sonohara - Laminage des crues  
Sonohara dam - Flood routing

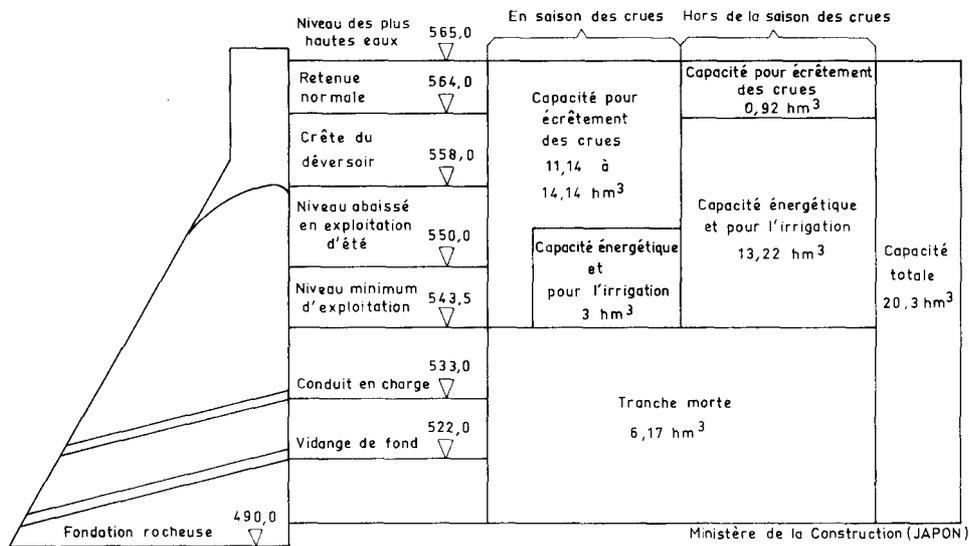


Fig. 2-3

Barrage de Sonohara  
Répartition de la capacité de la retenue

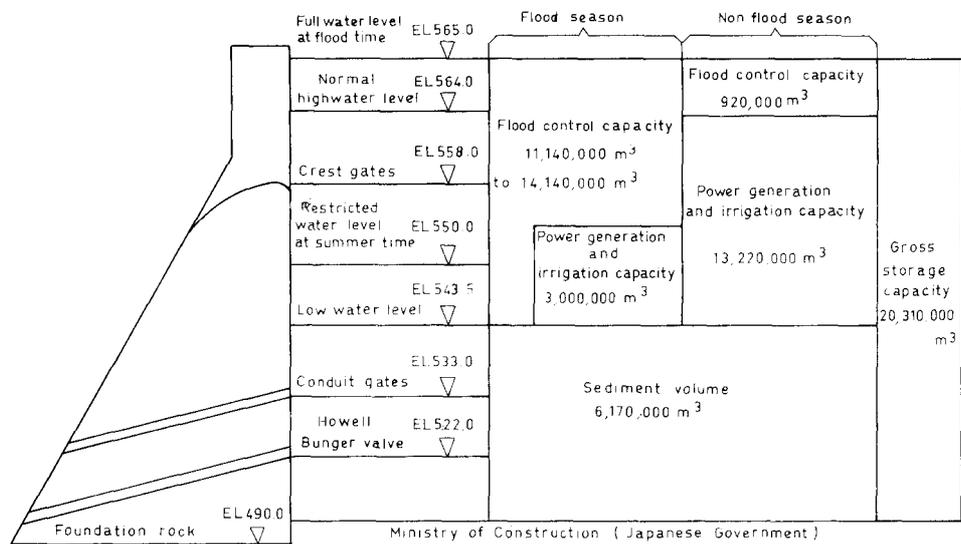


Fig. 2-3

Sonohara Dam  
Allocation of storage capacity

#### Contrôle du débit

Le débit maximal envisagé arrivant au barrage est de 2 820 m<sup>3</sup>/s. La consigne indiquée ci-dessous est valable pour un débit entrant dans la retenue inférieur ou au plus égal à 2 350 m<sup>3</sup>/s (débit de hautes eaux).

Le débit de crue de 2 350 m<sup>3</sup>/s doit être déduit de 800 m<sup>3</sup>/s par stockage dans la retenue. Les évacuateurs de fond évacuent donc jusqu'à 1 550 m<sup>3</sup>/s suivant l'hydrogramme représenté sur la figure 2-2. On déverse ce qui arrive tant que le débit entrant est inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/s. Au-delà, le débit déversé suit la loi :

$Q \text{ lâché} = 1\,000 (Q \text{ entrant} - 1\,000) \times 0,296$   
jusqu'à ce qu'on atteigne la pointe de la crue.

Quand le débit entrant décroît, le débit évacué croît jusqu'à 1 550 m<sup>3</sup>/s, on a donc stocké au moment de la crue et on déstocke après car la plus grande partie du volume de la retenue est réservée uniquement au contrôle des crues (voir figure 2-3).

#### Irrigation

Un débit de 140 m<sup>3</sup>/s réservé pour l'irrigation doit être maintenu en permanence à KURISHASHI à 49 km à l'aval de YATTAJIMA (irrigation de 1 200 hectares). C'est donc là une consigne globale pour l'ensemble des six aménagements.

#### Hydro-électricité

Le débit turbiné maximal est de 20 m<sup>3</sup>/s et la puissance installée est de 26 MW.

#### Détermination des manoeuvres en temps de crue

La nécessité de disposer d'informations précoces et d'agir rapidement a conduit à l'emploi d'un ordinateur. Celui-ci exploite l'ensemble des six barrages. Il reçoit directement et d'une manière continue les informations provenant des barrages et des stations de jaugeage et pluviométriques.

Le ordinateur rassemble, critique et choisit ces informations pour calculer les débits entrants (voir figure 2-4). Les éléments utilisés sont des mesures de niveau et de leurs variations, de débits évacués, de débits turbinés, des prévisions et des mesures de pluie. Le ordinateur détermine alors les manoeuvres à effectuer en suivant les règles définies précédemment au paragraphe "contrôle du débit". Les transmissions sont effectuées par des lignes souterraines ou des liaisons radio.

#### Personnel

Un service de quart permanent est en place. Il reçoit les ordres de manoeuvres du ordinateur et commande les vannes. Les vannes des évacuateurs en charge sont télécommandées. Les vannes de surface sont commandées localement.

Le personnel assure également la surveillance de la bonne marche de l'ensemble.

Les vannes sont manoeuvrées grâce à la charge hydraulique de la retenue.

L'exploitation des aménagements du bassin du Tone nécessite donc une prévision précoce et une action rapide. Vitesse et précision sont ainsi conciliées par l'utilisation d'un ordinateur d'aide à la conduite de l'exploitation. Nous nous trouvons ici dans le cas typique où cette solution est avantageuse.

PS. : le lecteur pourra se reporter utilement au rapport 25 de la question 41 du XIème Congrès International des Grands barrages (MADRID, 1973).

#### Flow control

The probable maximum flood discharge at the dam is estimated at 2 820 m<sup>3</sup>/s. The following rule applies to an inflow less than 2 350 m<sup>3</sup>/s (design high water discharge).

The 2 350 m<sup>3</sup>/s flood must be reduced to 1 500 m<sup>3</sup>/s by storage in the reservoir. The conduit gates thus release up to 1 550 m<sup>3</sup>/s as shown in the hydrograph in Fig. 2-2. The full inflow is discharged so long as it is less than 1 000 m<sup>3</sup>/s, beyond which spillage is governed by :

$$Q_{\text{outflow}} = 1\,000 + (Q_{\text{inflow}} - 1\,000) \times 0.296$$

until reaching the flood peak.

When inflow begins to decline, outflow rises to 1 550 m<sup>3</sup>/s. This means that inflow is stored during the flood and released afterwards, because most of the reservoir capacity is designed solely for flood control (Fig. 2-3). The crest gates are opened above 2 350 m<sup>3</sup>/s.

#### Irrigation

Irrigation releases of 140 m<sup>3</sup>/s must be permanently maintained at Kurishashi 49 km downstream of Yattajima to irrigate 1 200 hectares. This compensational water requirement thus applies to all six dams.

#### Hydro power

Maximum turbine discharge is 20 m<sup>3</sup>/s and the installed capacity is 26 MW.

#### Determination of gate operation during floods

For early data collection and rapid response, an electronic computer is quite indispensable. It runs all six dams, continuously receiving data directly from the dams and the water level and rainfall gauging stations.

The computer assembles, processes and selects this data and uses them to calculate inflow (Fig. 2-4). Inputs are water level, rate-of-change in water levels, spillage, turbine discharge, measured and predicted rainfall. The computer determines gate openings with reference to the rules described. Data is transmitted over underground lines or radio communication lines.

#### Staff

The dam has staffs round the clock operating the gates based on the computed results. The conduit gates are remotely controlled while the crest gates are operated from the dam top.

The dam staff also observes whether everything is working properly.

The gates have a hydrostatic head operating mechanism.

Operation of the Tone River basin requires early warning and rapid responses. Speed and precision are reconciled through a computer which assists in the running of the installations. This is a typical situation in which such a solution is beneficial.

Note : Readers are referred for further information to Report 25, Question 41, 11th ICOLD Congress, 1973.

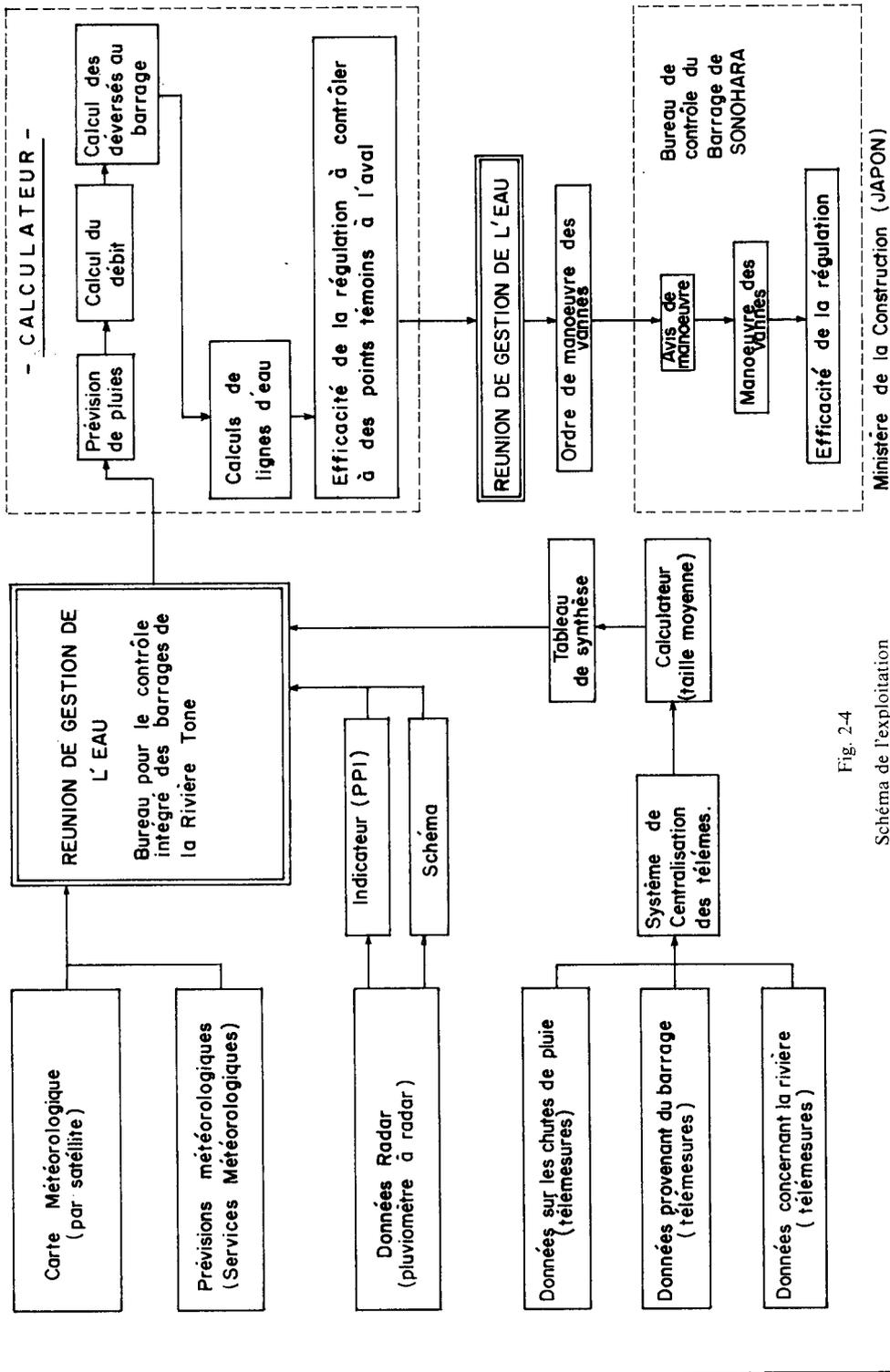


Fig. 2.4

Schéma de l'exploitation

Ministère de la Construction (JAPON)

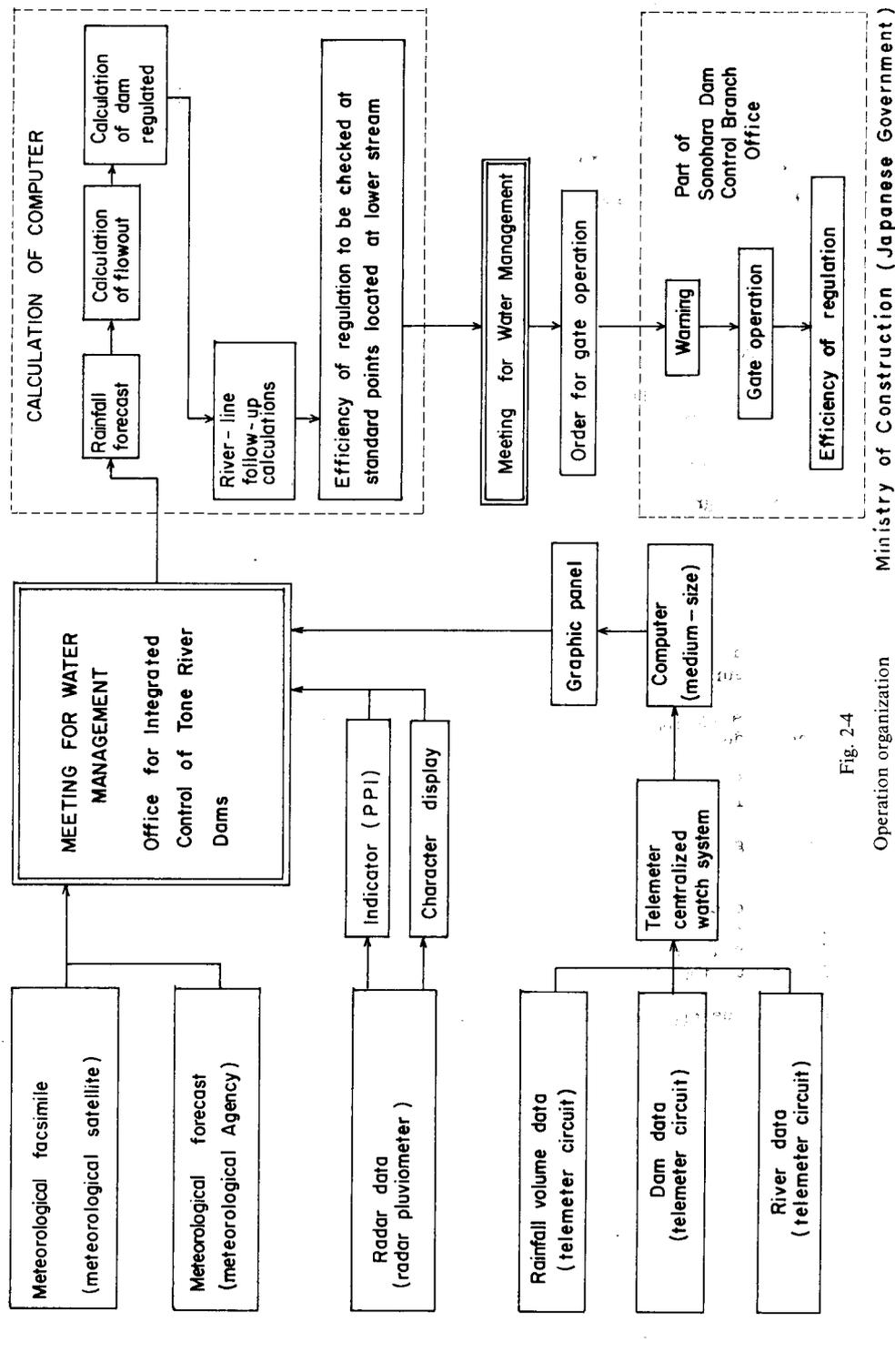


Fig. 2-4

Operation organization

Ministry of Construction (Japanese Government)

### **ANNEXE 3. SOLUTION IDÉALE DU DÉVERSOIR A SEUIL LIBRE MATTMARK SUR LA SAASER VISP (SUISSE)**

Le barrage de MATTMARK a été construit entre 1961 et 1967 sur la Saaser Visp près de Saas Fee dans le Valais (Suisse). C'est un barrage en terre de 120 m de hauteur et 770 m de longueur en crête. Il crée une retenue de 100 hm<sup>3</sup> à l'altitude 2 197 m. L'apport annuel de la Saaser Visp et de quelques affluents est de 120 hm<sup>3</sup> (figures 3-1 et 3-2).

Cet ouvrage constitue le réservoir de tête d'un aménagement hydro-électrique comprenant deux usines principales (74 MW et 160 MW) en cascade, alimentées par le lac Mattmark, et une usine de pompage (42 MW) pour améliorer le régime de l'eau. Le barrage contribue également à la défense contre les crues. Les objectifs, définis dans un Cahier des Charges et une consigne interne, peuvent se résumer grossièrement ainsi : remplir en été (fonte des neiges) et vider l'hiver.

L'ouvrage est équipé d'une vidange de fond de diamètre intérieur 3,20 m, de longueur 968 m et pouvant évacuer 50 m<sup>3</sup>/s. En rive droite, un déversoir à seuil libre, calé à la cote 2 197 est suivi d'une galerie de 4 m de diamètre intérieur, de 480 m de longueur et pouvant débiter 150 m<sup>3</sup>/s. A la cote 2 174, une galerie prévue pour un débit de 20 m<sup>3</sup>/s et débouchant dans la galerie de l'évacuateur de crues sert de vidange intermédiaire (figure 3-3).

Les textes réglementaires prescrivent une visite annuelle de l'ouvrage par les galeries de contrôle.

L'obturation de la galerie de vidange est assurée par deux vannes en série, la vanne aval étant utilisée en temps normal.

Des barragistes assurent l'entretien et effectuent des mesures.

Un quart de 4 x 3 personnes commun aux centrales hydro-électriques exploite l'ensemble de l'aménagement. Il est installé à l'usine de Stalden (la plus en aval). L'exploitation des ouvrages hydrauliques est évidemment très simple. Le débit turbiné est fixé en fonction de consignes énergétiques et le déversoir fixe évacue tout ce qui arrive au-dessus de la cote 2 197.

Les jours de crue ne représentent en moyenne qu'une semaine par an.

**APPENDIX 3. THE IDEAL UNCONTROLLED SPILLWAY SOLUTION,  
MATTMARK ON THE SAASER VISP RIVER, SWITZERLAND**

Mattmark dam was built between 1961 and 1967 on the Saaser Visp river near Saas Fee in the Valais region of Switzerland. It is an earth dam, 120m high with a crest length of 770m. Reservoir capacity is 100 hm<sup>3</sup> at an altitude of 2 197m. Annual inflow from the Saaser Visp and tributaries is 120hm<sup>3</sup> (Fig. 3-1, 3-2).

Mattmark reservoir is at the head of a hydro-electric system comprising two main powerstations (74MW and 160MW) in cascade supplied from the Mattmark lake, and a 42MW pumped storage scheme to improve water management. The dam is also designed for flood control. These objectives are stipulated in a Specification and internal rules, and can be summarized as follows : fill in summer (snowmelt) and drawdown in winter.

The dam has a bottom outlet, 3.20m inside diameter and 968m long, with a capacity of 50m<sup>3</sup>/s. On the right bank, there is an uncontrolled overflow spillway with its sill at elevation 2 197 followed by a 4m id tunnel 480m long, capable of 150m<sup>3</sup>/s. At elevation 2 174, there is an intermediate outlet tunnel designed for 20m<sup>3</sup>/s, discharging into the spillway (Fig. 3-3).

Regulations require an annual internal inspection through the inspection galleries.

The bottom outlet tunnel is controlled by two gates in series, the downstream gate being used under normal conditions.

The dam attendants are responsible for maintenance and monitoring.

Three shifts of 4 men each, shared by the hydro-electric powerstations, operate the whole scheme from the Stalden powerstation farther downstream. The running of the hydraulic parts is obviously greatly simplified. Turbine discharge is governed by power requirements and the uncontrolled spillway discharges anything over elevation 2 197m.

Floods represent only one week per year on average.

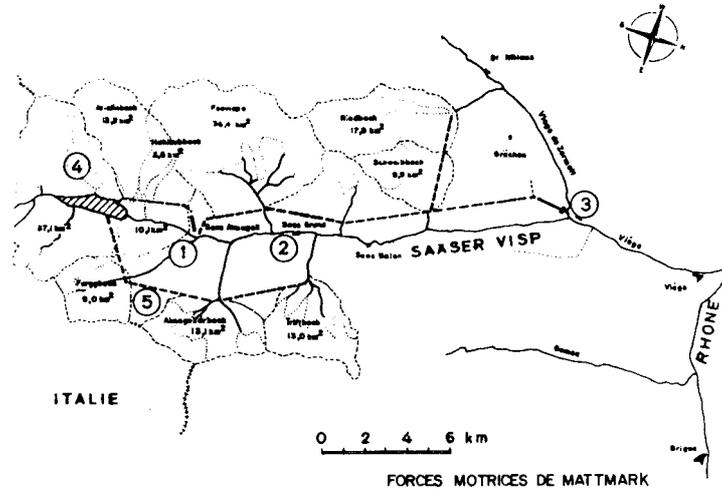


Fig. 3-1

Aménagement de Mattmark - Plan de situation  
 Mattmark project - Location plan

- |  |   |
|--|---|
| 1. Usine de Zermeiggern : 74 MW                | 1. Zermeiggern powerstation : 74 MW         |
| 2. Usine de Saas Fee : 1,5 MW                  | 2. Saas Fee powerstation : 1.5 MW           |
| 3. Usine de Stalden : 180 MW                   | 3. Stalden powerstation : 180 MW            |
| 4. Réservoir de Mattmark : 100 hm <sup>3</sup> | 4. Mattmark reservoir : 100 hm <sup>3</sup> |
| 5. Adductions rive droite                      | 5. Right bank catchwater                    |

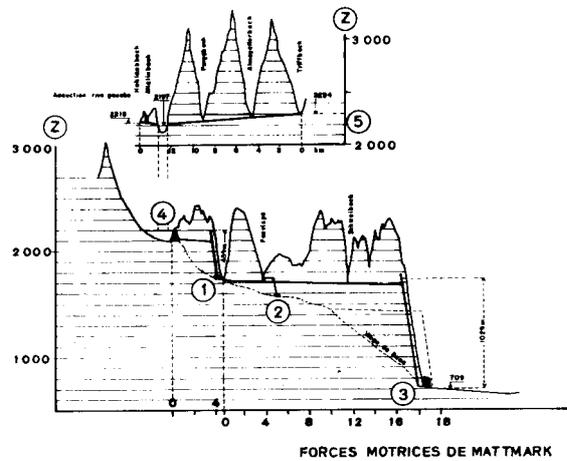
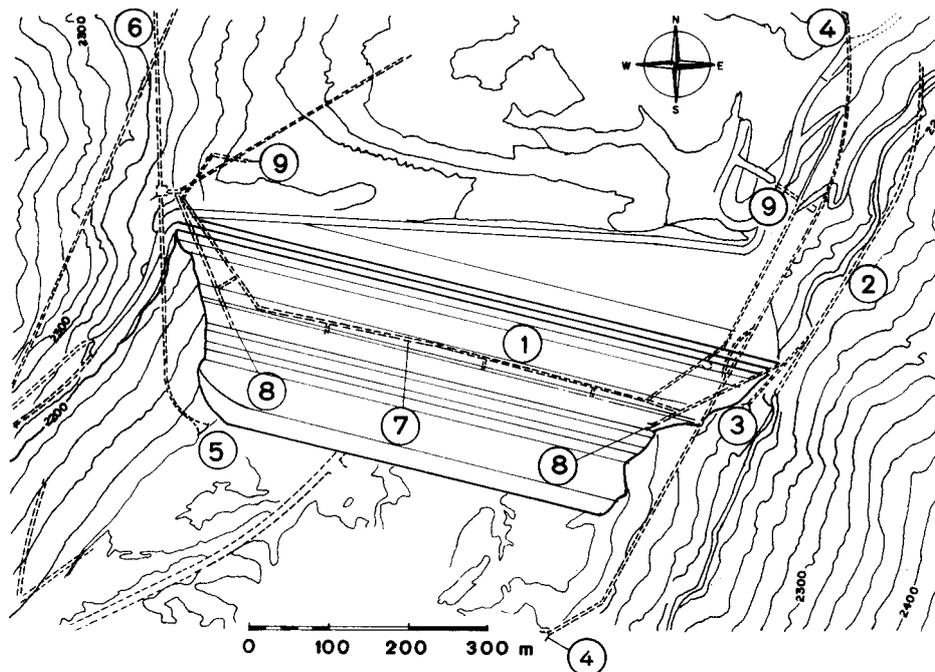


Fig. 3-2

Aménagement de Mattmark - Profil en long  
 Mattmark project - Longitudinal profile

- |  |   |
|--|---|
| Z. Altitude (m)                                | Z. Elevation (m)                            |
| 1. Usine de Zermeiggern : 74 MW                | 1. Zermeiggern powerstation : 74 MW         |
| 2. Usine de Saas Fee : 1,5 MW                  | 2. Saas Fee powerstation : 1.5 MW           |
| 3. Usine de Stalden : 180 MW                   | 3. Stalden powerstation : 180 MW            |
| 4. Réservoir de Mattmark : 100 hm <sup>3</sup> | 4. Mattmark reservoir : 100 hm <sup>3</sup> |
| 5. Adductions rive droite                      | 5. Right bank catchwater                    |



FORCES MOTRICES DE MATTMARK

Fig. 3-3

Barrage de Mattmark - Vue en plan  
 Mattmark dam - Plan view

Volume de réservoir utile : 100 hm<sup>3</sup>  
 Cote des plus hautes eaux : 2 197

- 1. Corps du barrage
- 2. Évacuateur de crue
- 3. Vidange intermédiaire
- 4. Vidange de fond
- 5. Prise d'eau
- 6. Galerie d'aménée
- 7. Galerie de drainage
- 8. Galerie d'injection
- 9. Galerie d'accès

Reservoir useful volume : 100 hm<sup>3</sup>  
 Maximum water level : 2 197

- 1. Dam body
- 2. Spillway
- 3. Intermediate outlet
- 4. Bottom outlet
- 5. Intake
- 6. Headrace tunnel
- 7. Drainage gallery
- 8. Grouting gallery
- 9. Access gallery

**ANNEXE 4. EXPLOITATION MANUELLE  
ASSORTIE D'UN SYSTÈME DE VANNES AUTOMATIQUES  
ALDEADAVILA SUR LE DUERO (ESPAGNE)**

Le barrage d'ALDEADAVILA barre le Duero (Espagne) dans une gorge très encaissée formant une retenue de 114,8 hm<sup>3</sup> dont 56,6 hm<sup>3</sup> de volume utile. A l'emplacement du barrage, le fleuve constitue la frontière entre l'Espagne et le Portugal. La portion frontière du cours d'eau a été partagée en deux zones, l'une exploitée par l'Espagne, l'autre par le Portugal. IBERDUERO S.A. est propriétaire et exploitant de l'aménagement. Ce dernier a pour but la production d'énergie électrique. Une usine souterraine proche du barrage est équipée de 6 groupes Francis de 140 MW chacun, turbinant 103 m<sup>3</sup>/s sous 139 m de chute nette. La productibilité en année moyenne est de 3,4 TWh. Le barrage est de type voûte-poids de 140 m de haut et de 250 m de longueur en crête.

Le Duero qui prend sa source en Vieille Castille près de Soria coule en direction de l'ouest pour se jeter dans l'Océan Atlantique à Porto (Portugal). Au niveau d'ALDEADAVILA, l'apport annuel est de 12 000 hm<sup>3</sup> environ. Le Duero, comme la plupart des fleuves espagnols, a un régime hydrologique très irrégulier. Le débit maximal de la crue de projet a été pris égal à 12 000 m<sup>3</sup>/s. On notera que la période de construction du barrage a été marquée par une crue de 10 000 m<sup>3</sup>/s. L'ouvrage est équipé de huit vannes de surface (14 x 8,30 m) suivies de déversoirs en saut de ski (voir figures annexées) ayant une capacité d'évacuation maximale de 10 000 m<sup>3</sup>/s. Un évacuateur supplémentaire constitué par deux vannes de surface et une galerie en rive droite permettent d'évacuer 2 800 m<sup>3</sup>/s. Enfin, deux vidanges de fond ont une capacité d'évacuation de 300 m<sup>3</sup>/s.

Aucune visite n'est obligatoire, mais un contrôle par vidange de la retenue ou par plusieurs plongeurs est effectué dès qu'on soupçonne des dégâts.

Les vidanges de fond sont essayées tous les 6 mois sous charge maximale et à pleine ouverture, ce qui constitue un bon exemple de ce qui doit être recommandé. Les vannes des évacuateurs de surface sont essayées deux fois par an jusqu'à fin de course quand le niveau de la retenue est inférieur à la cote du seuil. Il n'y a pas de débit réservé à l'aval.

Un service de quart comprenant deux agents, l'un à la centrale et l'autre au barrage, exploite le barrage et l'usine. Les révisions périodiques sont effectuées par cinq personnes supplémentaires.

**Exploitation en temps de crue**

Le but de la consigne en temps de crue est de n'augmenter ni le débit maximal ni la vitesse de propagation de la crue. Une série de pluviomètres est implantée sur le bassin du Duero. Le service hydrologique collecte ces informations et en déduit des prévisions. Par ailleurs, les réserves de neige et leur influence éventuelle en cas de dégel rapide sont mesurées. Les prévisions de crue résultent essentiellement des informations précises provenant des barrages en amont (5 sur le Duero et 3 sur le Tormès). L'avertissement est donc totalement assuré car les apports dans la retenue elle-même sont faibles.

Pour les mesures de niveau, on utilise des limnigraphes en puits qui amortissent

**APPENDIX 4. MANUAL OPERATION COMBINED WITH AUTOMATIC  
GATE SYSTEM,  
ALDEADAVILA ON THE DUERO RIVER, SPAIN**

The Aldeadavila dam on the Duero river lies in a steep-sided gorge and impounds a reservoir of 114.8 hm<sup>3</sup> capacity, of which 56.6 hm<sup>3</sup> is live storage. The river at this point divides Spain from Portugal, and the frontier portion has been split into two zones, one run by each country. The Aldeadavila scheme belongs to, and is run by, Iberduero S.A. for hydro power. An underground powerstation near the dam houses 6 Francis sets each rated at 140MW turbinning 103 m<sup>3</sup>/s under a net head of 139m. Average generation in normal years is 3.4 TWh. The dam is an arch gravity structure, 140m high and 250m long at the crest.

The Duero rises in old Castille near Soria, and flows westwards to the Atlantic at Oporto, in Portugal. Annual runoff at Aldeadavila is approximately 12 000 hm<sup>3</sup>. Like most Spanish rivers, the Duero is very irregular. The design flood peak was taken at 12 000 m<sup>3</sup>/s and a flood of 10 000 m<sup>3</sup>/s was experienced during construction of the dam. There are eight surface gates (14 x 8.30m) with ski jump chutes (see Figs.) for a maximum capacity of 10 000 m<sup>3</sup>/s. Another surface spillway with two gates and a tunnel through the right bank can handle 2 800 m<sup>3</sup>/s. Lastly, there are two bottom outlets providing 300 m<sup>3</sup>/s capacity.

Inspection is not compulsory but is made by diver or by drawing down the reservoir if problems are suspected.

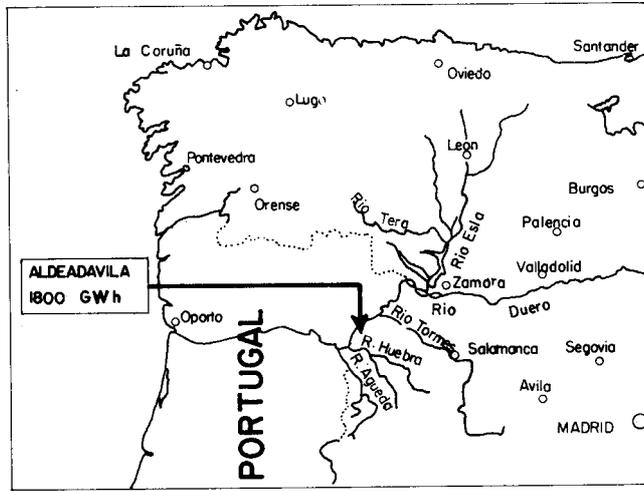
The bottom outlets are exercised every six months at full opening under maximum head, a good example of recommended practice. The surface spillway gates are exercised twice yearly, to full opening, when the reservoir level is below the sill. There is no requirement for compensation water.

There is one attendant in the powerstation and another at the dam on a shift basis. Periodical overhauls are done with 5 extra men.

**Operation during floods**

The criterion in flood periods is not to increase the maximum streamflow or rate of propagation. There are rain gauges over the whole Duero basin. The Hydrology Department collects the information and uses it for its predictions. Standing snow and its possible effect in the event of sudden melting is also measured. Floods are predicted mainly from the accurate information from dams farther upstream (5 on the Duero and 3 on the Tormes). This provides fully effective warning, because inflow into the reservoir itself is small.

Water levels are measured with gauges installed in wells to damp out the waves. There is 72 hours' warning of the arrival of the flood.



IBERDUERO SA

Fig. 4-1  
Aldeadavila  
Plan de situation - Location map

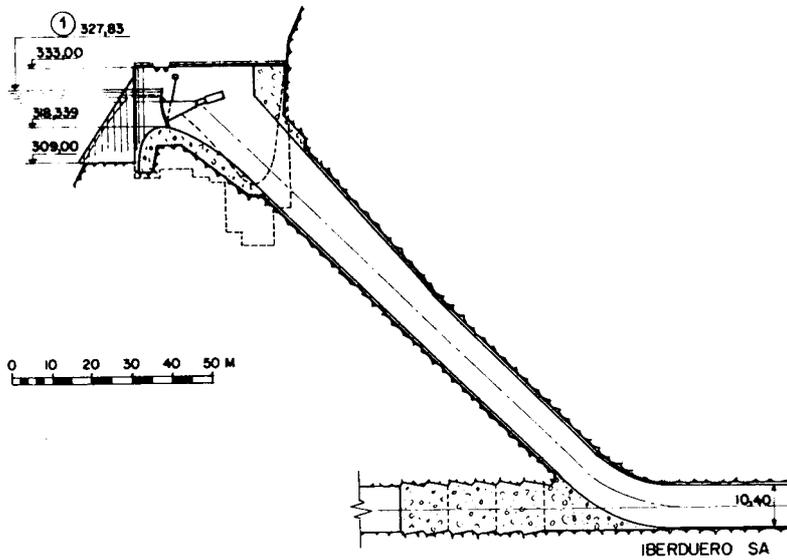


Fig. 4-3  
Evacuateur de crue latéral  
Lateral shaft spillway

1. Niveau de retenue normale

1. Normal water level

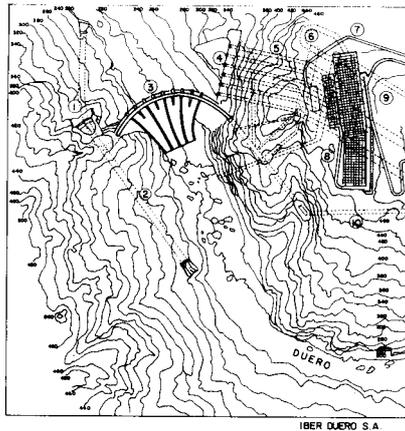


Fig. 4-2

Aldeadavila  
Vue en plan - Plan view

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Entonnement (évacuateur de crue)      | 1. Intake (spillway)         |
| 2. Dérivation provisoire                 | 2. Diversion tunnel          |
| 3. Barrage - Déversoir                   | 3. Dam - spillway            |
| 4. Prise d'eau (usine)                   | 4. Intake (powerstation)     |
| 5. Conduites forcées                     | 5. Penstocks                 |
| 6. Usine                                 | 6. Powerstation              |
| 7. Caverne des transformateurs           | 7. Transformer cavern        |
| 8. Cheminée d'équilibre                  | 8. Surge tank                |
| 9. Poste haute tension                   | 9. Switchyard                |
| 10. Accès au barrage et à la prise d'eau | 10. Access to dam and intake |

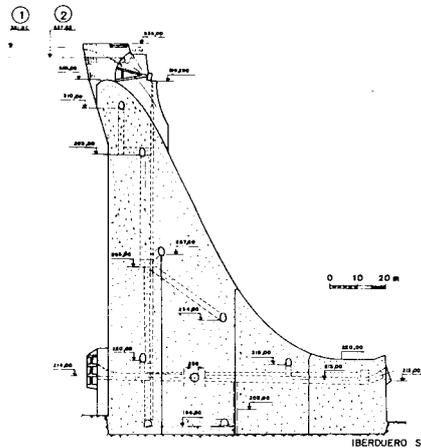


Fig. 4-4

Aldeadavila  
Coupe sur l'évacuateur de crue de surface  
Section through overflow spillway

- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Niveau des plus hautes eaux | 1. Maximum water level |
| 2. Niveau de retenue normale   | 2. Normal water level  |

l'effet des vagues. Le délai disponible avant l'arrivée de la crue est de 72 heures.

L'état de crue est décrété quand le débit dépasse 1 000 m<sup>3</sup>/s. On est en "état d'alerte" (état jugé plus critique que l'état de crue ordinaire), si la crue survient alors que le réservoir est plein. Le personnel de quart recueille les informations toutes les heures et les envoie au Bureau Central des Manoeuvres; ce dernier détermine le débit qui doit être déversé aux évacuateurs situés sur le barrage, en fonction du niveau de la retenue et de sa variation, du débit turbiné, du débit déversé aux évacuateurs et du débit transitant aux barrages situés en amont.

Le Bureau Central notifie la valeur de ce débit aux agents d'exploitation qui déterminent les manoeuvres des vannes à effectuer grâce à des abaques donnant le débit en fonction de l'ouverture des vannes et de la cote du plan d'eau.

Les vannes sont alors manoeuvrées par télécommande. Une commande locale motorisée est possible en cas de défaillance de la télécommande.

Tout ceci est valable pour les évacuateurs vannés situés sur le barrage.

L'exploitation de la galerie d'évacuation latérale est plus simple. En effet, les vannes commandant le débit de la galerie sont munies d'un système d'ouverture automatique en fonction du niveau. L'automatisme, prenant en compte l'ouverture des vannes ainsi que le niveau du réservoir à l'aide d'un flotteur, assure la commande des moteurs électriques.

Les informations principales et les consignes sont envoyées par circuit Haute Fréquence sur ligne électrique. Une liaison hertzienne et une ligne d'abonnement téléphonique à appel manuel constituent les moyens de secours.

Les mesures de niveau et les signalisations d'ouverture des vannes sont transmises par des lignes souterraines spécifiques.

Les mécanismes de commande des vannes sont munis d'un double circuit électrique et d'une double alimentation. Un groupe électrogène peut fournir l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement en cas de défaillance de l'alimentation normale.

Il s'agit donc d'un ouvrage important et de faible capacité relative. Les crues sont puissantes mais bien connues car le Duero est aménagé en amont d'ALDEADAVILA. Un service de quart exploite l'usine et commande les manoeuvres nécessaires en fonction des ordres donnés par le Bureau Central des Manoeuvres. Un évacuateur latéral vanné à commande automatique fonction du niveau permet de libérer le personnel de l'exécution des manoeuvres nécessitées par des crues de faible importance.

The flood criterion is when flow exceeds 1 000 m<sup>3</sup>/s. If the flood arrives when the reservoir is full, there is an alert (considered more critical than ordinary flood period). The shift attendants collect information hourly and send it to the Central Operations Office which decides how much must be spilled with reference to the reservoir level and its rate-of-change, turbine discharge, spillway discharge and outflow from upstream dams.

The Central Office instructs the dam attendants as to the required discharge rate, and they open the spillway gates by the requisite amount, using charts showing discharge against gate opening and reservoir level.

The gates are remotely operated, although direct motorized operation is possible in the event of a fault in the system.

The above procedure refers to the gated spillways at the dam.

Operation of the side tunnel is simpler. The control gates are opened automatically on the basis of headwater level by a system responding to the percent of gate opening and the reservoir level (by means of a float switch).

The main data and criteria are sent over a power line high-frequency circuit. Standby communications are provided by radio and a manual public telephone line.

Water level readings and gate opening signals are transmitted over dedicated underground lines.

The gate operating mechanisms have a double power supply and electrical circuitry. There is also a standby generating set if the normal supply breaks down.

We have then here a large dam with a small relative capacity. Floods are severe but well monitored, because the Duero is controlled upstream of Aldeadavila. There is a shift service for the powerstation and gate operations, working on orders given by the Central Operations Office. An automatically controlled, gated spillway, opening as the reservoir level rises, relieves the attendants of the responsibility for discharging small floods.

**ANNEXE 5. EXPLOITATION D'UN GRAND OUVRAGE  
COMPORTANT UNE RETENUE TRÈS IMPORTANTE  
HENDRIK VERWOERD SUR LE FLEUVE ORANGE  
(AFRIQUE DU SUD)**

Le barrage HENDRIK VERWOERD, pièce maîtresse du complexe d'aménagement de l'Orange (Afrique du Sud), est situé près de la ville de COLESBERG. C'est un barrage voûte de 88 m de hauteur et de 914 m de longueur en crête flanqué de deux ailes à profil poids. Le volume de la retenue est de 5 955 hm<sup>3</sup>. La surface du bassin versant correspondant est de 850 000 km<sup>2</sup> environ.

Le fleuve Orange prend sa source dans le Lesotho et se dirige vers l'ouest en traversant la partie méridionale du continent africain pour se jeter dans l'Océan Atlantique. C'est un cours d'eau impétueux dont les crues estivales peuvent atteindre 8 000 m<sup>3</sup>/s et dont l'apport annuel s'élève à 9 940 hm<sup>3</sup>. Un aménagement global du bassin a été réalisé avec des buts multiples : production d'électricité, irrigation, défense contre les crues, alimentation en eau potable ou industrielle. A cet effet, le Department of Water Affairs a construit et exploite actuellement les trois barrages suivants : WELBEDACHT, HENDRIK VERWOERD et P.K. LE ROUX.

Une centrale hydro-électrique est installée au pied du barrage HENDRIK VERWOERD. Elle est équipée de 4 groupes de 80 MW. Le barrage est équipé de vidanges de fond obturées par deux vannes en série. Les évacuateurs de crues principaux sont des pertuis en charge prolongés par des coursiers. Il y en a trois sur chaque aile de l'ouvrage. Leur capacité est de 8 500 m<sup>3</sup>/s. Un déversoir à seuil libre au centre du barrage permet l'évacuation supplémentaire de 8 000 m<sup>3</sup>/s.

Un règlement interne impose tous les 3 ans une visite des parties immergées de l'ouvrage par plongeurs. Les organes de vidange et les vannes d'évacuateur sont essayées tous les mois avec ouverture totale.

Exploitation :

Elle doit respecter des consignes de répartition du débit entre les différents usages de l'eau tout en s'efforçant de remplir la retenue en fin de crue, d'amortir les crues, mais également de soutenir les étiages.

Un service de quart de trois personnes exploite le barrage et l'usine. Des renforts sont disponibles en période de crue. Le personnel interroge régulièrement des sources d'informations (limnigraphes, stations de jaugeage à ALIWAL NORTH, débit lâché à l'évacuateur, débit turbiné, débit transitant au barrage de WELBEDACH sur le CALEDON). La transmission de ces informations est réalisée par ligne d'abonnement téléphonique à appel manuel.

Des calculs permettent de déterminer :

- le débit de pointe de la crue,
- l'heure d'arrivée de la pointe de crue,
- les moyens de baisser ou de retarder la pointe.

## APPENDIX 5. OPERATION OF A LARGE DAM WITH A VERY LARGE RESERVOIR

### *HENDRIK VERWOERD ON THE ORANGE RIVER, RSA*

Hendrik Verwoerd dam is the cornerstone of the complex Orange river development system, near the town of Colesberg in South Africa. It is an arch dam, 88m high, crest length 914m, with gravity wings at each end. Reservoir capacity is 5 955 hm<sup>3</sup>. The catchment area down to the dam is approximately 850 000 km<sup>2</sup>.

The Orange river rises in Lesotho and flows westwards across southern Africa into the Atlantic. It is a lively river with summer floods of up to 8 000 m<sup>3</sup>/s and an annual runoff of 9 940 hm<sup>3</sup>. The whole basin has been developed for the purposes of hydro power, irrigation, flood control, and domestic and industrial water supply, with three dams, Welbedacht, Hendrik Verwoerd, and P.K. Le Roux, built and run by the Department of Water Affairs.

Hendrik Verwoerd dam has a hydro-electric powerstation at the toe, housing 4 generating sets of 80MW rating. The bottom outlets are controlled by two gates in series. The main spillways are high-head types, with chutes behind. There are three on each gravity wing, and their capacity is 8 500 m<sup>3</sup>/s. A free overflow central section adds a further 8 000 m<sup>3</sup>/s.

Internal regulations require diver inspection of submerged parts every three years. The bottom outlets and spillway gates are tested to full opening monthly.

#### Operation

Streamflow is apportioned to various uses, and operation endeavours to have the reservoir full at the end of the flood, to attenuate floods, and to maintain a certain minimum water level in the river.

Three-man shifts operate the dam and powerstation, and reinforcements are available during floods. The staff regularly collects data from the water level recorders, the Aliwal North gauging station, spillway discharge, turbine discharge and outflow from Welbedacht dam on the Caledon river. This information is transmitted over a manual public telephone line.

Calculations are made to determine:

- . the flood peak,
- . its time of arrival,
- . ways of lowering or retarding it.

On optimise l'exploitation des trois ouvrages de l'aménagement de l'Orange en les gérant ensemble. Les manoeuvres sont donc déterminées et commandées localement par du personnel. C'est une commande motorisée dont l'alimentation en énergie électrique peut être assurée par un groupe électrogène en cas de défaillance de l'alimentation principale.

On a donc ici l'exemple d'une méthode d'exploitation qu'on retrouve dans beaucoup de pays : un service de quart est sur place et exécute les manoeuvres déterminées manuellement. Dans ce cas, la sécurité est primordiale en raison de l'importance de la retenue. L'exploitant en tient compte en procédant à des essais fréquents et complets du matériel, ce qui constitue un gage de sécurité et permet au personnel d'avoir pleine confiance dans le bon fonctionnement des équipements.

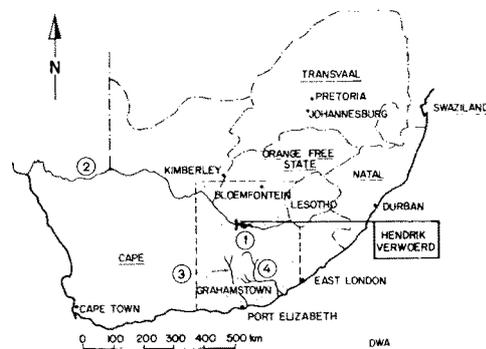


Fig. 5-1

Aménagement de l'Orange - Plan de situation  
Orange project - Location map

- |                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 1. Aménagement de l'Orange | 1. Orange project |
| 2. Fleuve Orange           | 2. Orange river   |
| 3. Rivière Sundays         | 3. Sundays river  |
| 4. Rivière Fish            | 4. Fish river     |

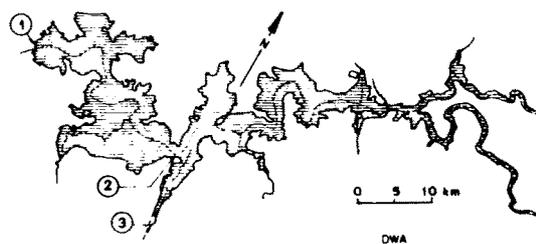


Fig. 5-2

Barrage Hendrik Verwoerd - Plan de la retenue  
Hendrik Verwoerd dam - Reservoir map

- |                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 1. Barrage             | 1. Main dam                  |
| 2. Prise d'eau         | 2. Intake                    |
| 3. Galerie Orange-Fish | 3. Orange-Fish rivers tunnel |

Operation of the three dams on the Orange river is optimized by running them together. Gate operations are therefore determined and effected locally by the personnel. The gates are motorized, with electricity supply from a standby generator in case of breakdown of the main source.

We have here an example of an operating method that is found in many countries. The dam is staffed on a shift basis, to determine what gate operations are necessary, and perform them. Safety is overriding in this instance, because of the size of the reservoir. This is reflected in the frequent full tests of the gates. They are an assurance of safety, giving the personnel full confidence in the equipment.

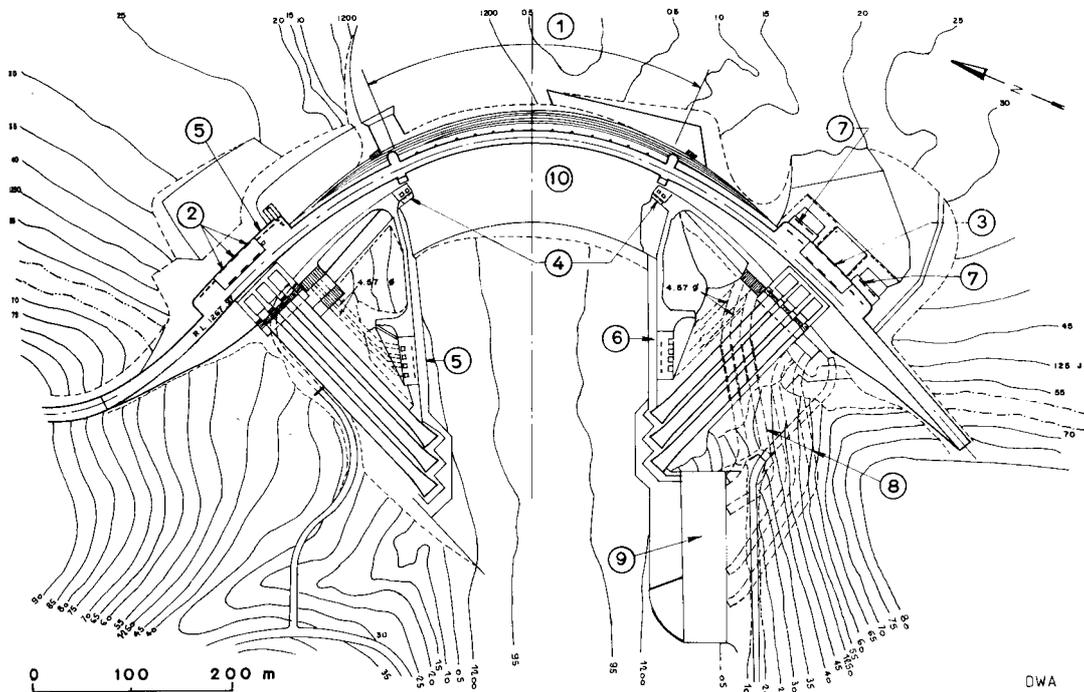


Fig. 5-3

Barrage Hendrik Verwoerd - Vue en plan

Hendrik Verwoerd dam - Plan view

- |                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Crête déversante                  | 1. Overspill                        |
| 2. Évacuateur rive droite (3 vannes) | 2. Right bank flood gates (3 gates) |
| 3. Évacuateur rive gauche (3 vannes) | 3. Left bank flood gates (3 gates)  |
| 4. Vannes de dévasement              | 4. Silt outlet valves               |
| 5. Vidanges                          | 5. Outlets                          |
| 6. By-pass                           | 6. By pass gates                    |
| 7. Prises d'eau                      | 7. Intakes                          |
| 8. 4 conduites forcées               | 8. 4 penstocks                      |
| 9. Usine                             | 9. Power house                      |
| 10. Tapis de réception               | 10. Apron                           |

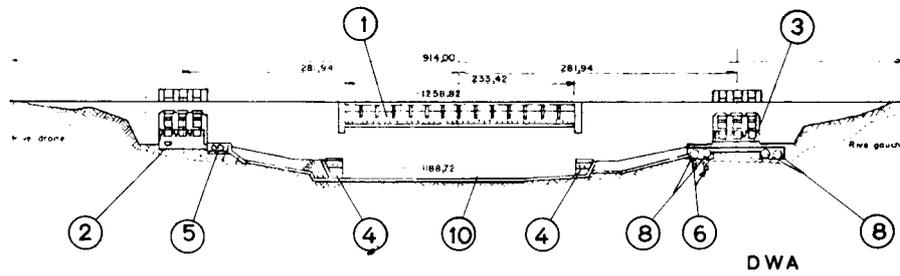


Fig. 5-4

Barrage Hendrik Verwoerd - Élévation aval  
 Hendrik Verwoerd dam - Downstream elevation

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Crête déversante       | 1. Overspill              |
| 2. Évacuateur rive droite | 2. Right bank flood gates |
| 3. Évacuateur rive gauche | 3. Left bank flood gates  |
| 4. Vannes de dévasement   | 4. Silt outlet valves     |
| 5. Vidanges               | 5. Outlet                 |
| 6. By pass                | 6. By pass                |
| 8. Conduites forcées      | 8. Penstocks              |
| 10. Tapis de réception    | 10. Apron                 |

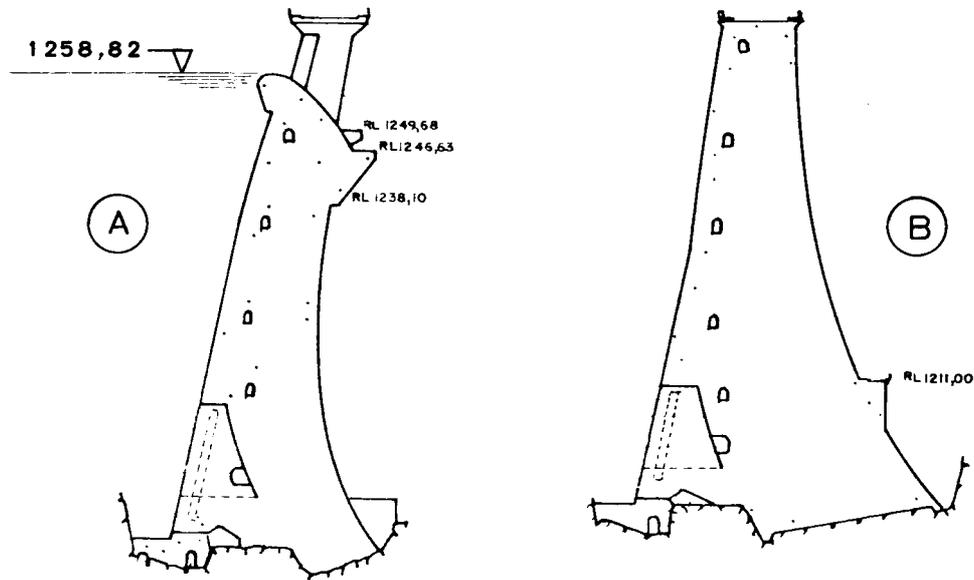


Fig. 5-5

Barrage H. Verwoerd - H. Verwoerd dam

- |                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| A. Coupe sur la partie déversante     | A. Overspill section     |
| B. Coupe sur la partie non déversante | B. Non-overspill section |

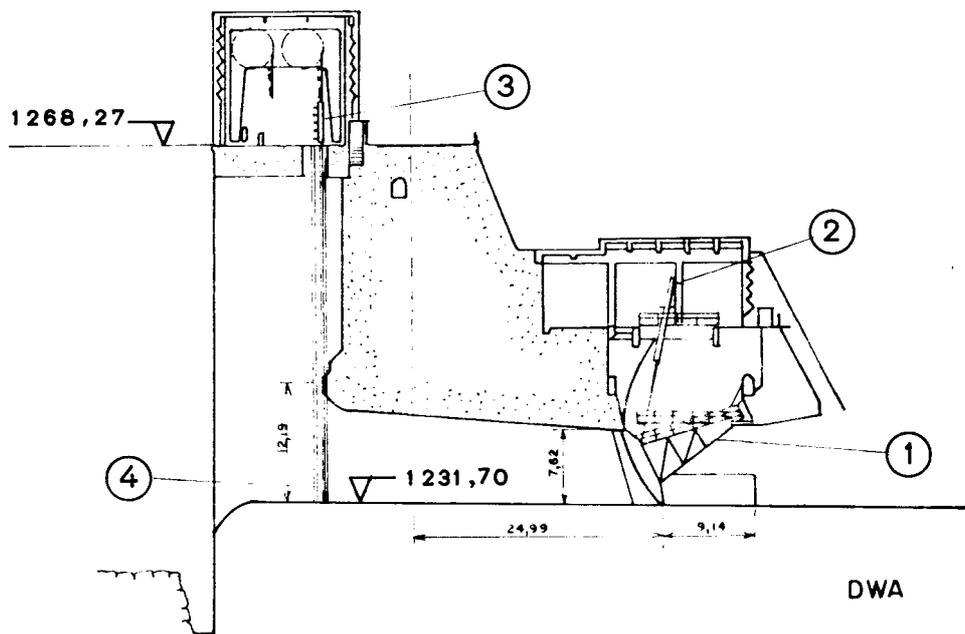


Fig. 5-6

Barrage H. Verwoerd - Évacuateur latéral - Coupe sur un pertuis  
H. Verwoerd dam - Section through flood gate opening

- |  |  |
|--|--|
| 1. Vanne segment (pertuis libre de 8,53 m de large et 7,62 m de haut)                                | 1. Radial flood gate for 8.53 m wide × 7.62 m high clear opening                         |
| 2. Servomoteur à huile   | 2. Hydraulic operating jack  |
| 3. Batardeau pour pertuis de 8,53 m de large et 12,19 m de haut. Batardeau en 3 éléments. 3 sections | 3. Maintenance flood gate for 8.53 m wide × 12.19 high clear opening. Gate in 3 sections |
| 4. Élément de batardeau de 4,06 m de hauteur   | 4. Maintenance flood gate section 4.06 m high  |

## **ANNEXE 6. EXPLOITATION D'UN BARRAGE SUR UN COURS D'EAU SOU MIS A DES CRUES SOUDAINES ET PUISSANTES EN CLIMAT TROPICAL**

### ***LUIS L. LEON (EL GRANERO) SUR LE RIO CONCHOS (MEXIQUE)***

La partie septentrionale du Mexique est une région aride au climat tropical et les crues sont brutales et puissantes. En vue de contrôler ces crues et d'irriguer 11 000 hectares, le barrage de LUIS L. LEON sur le Rio Conchos a été construit de 1965 à 1968. Le Rio Conchos se dirige vers le nord du pays dans la province de Chihuahua. Le barrage est situé près de la ville de ALDAMA.

C'est un barrage en enrochements avec noyau central étanche (62 m de hauteur et 330 m de longueur en crête). Il retient 850 hm<sup>3</sup> d'eau dont 260 hm<sup>3</sup> de volume utile. Le bassin versant couvre 58 340 km<sup>2</sup> et fournit un apport annuel moyen de 610 hm<sup>3</sup>. La moyenne annuelle des précipitations est d'environ 450 mm. Le débit entrant maximal enregistré est de 1 550 m<sup>3</sup>/s (28 Septembre 1958). L'exploitant et propriétaire de l'ouvrage est le SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS (S.R.H.).

Ouvrages d'évacuation et de prise d'eau

Un évacuateur de surface vanné est installé sur la rive gauche. Sa capacité est de 7 000 m<sup>3</sup>/s. L'obturation est réalisée par 5 vannes de 10 m de largeur sur 15,10 m de hauteur, manoeuvrées électriquement depuis le pont qui les surplombe. Les vannes sont suivies d'un coursier courbe de pente 0,23, de 59 m de large et 150 m de longueur. Un bassin de dissipation d'énergie est implanté à l'aval du coursier (5 m de profondeur, 10 m de largeur, 59 m de longueur).

En rive droite, se trouve une prise d'eau suivie de deux galeries de 4,5 m de diamètre et 780 m de longueur. L'une est utilisée pour l'irrigation, l'autre, provisoirement obturée par un bouchon de béton, est destinée à l'alimentation future d'une centrale hydro-électrique. La galerie d'irrigation est fermée à l'aval par deux vannes; son débit maximal est de 20 m<sup>3</sup>/s. Le matériel n'a donné lieu à aucune réparation importante jusqu'à présent.

Exploitation

Une vidange annuelle de la retenue est effectuée.

Un quart permanent de 5 personnes exploite en commun le barrage et d'autres ouvrages. Des renforts en personnel sont disponibles en cas de besoin.

Pour l'annonce des crues, l'exploitant dispose d'abord des données fournies par un organisme national qui contrôle l'évolution des phénomènes hydro-météorologiques et dispose des informations sur l'état des principales retenues. Sur la base des données ainsi recueillies, cet organisme fournit des prévisions d'écoulement au moyen d'un modèle mathématique et de moyens informatiques.

A partir de ces prévisions, le modèle permet également d'optimiser le programme des lâchures au barrage afin de minimiser les déversements tout en sauvegardant la sécurité des ouvrages et des riverains (on s'efforce notamment de limiter à 1 200 m<sup>3</sup>/s les lâchures au barrage); à cet effet, le modèle tient compte des écarts possibles entre l'hydrogramme calculé et l'hydrogramme réel enregistré à une station de jaugeage située peu en amont du barrage; le modèle prend aussi en compte les déversements éventuels des barrages situés à l'amont.

**APPENDIX 6. TROPICAL CLIMATE, LARGE FLASH FLOODS,  
LUIS L. LEON (EL GRANERO) ON THE RIO CONCHOS, MEXICO**

North Mexico is an arid region with a tropical climate and large flash floods. The Luis L. Leon dam was built on the Rio Conchos from 1965 to 1968 to control these floods and irrigate 11 000 hectares. The river runs northwards in the Chihuahua province, and the dam lies near the town of Aldama.

It is a rockfill structure with central core (height 62m, crest length 330m). It impounds 850 hm<sup>3</sup> of water, of which 260 hm<sup>3</sup> is live storage. The catchment area is 58 340 km<sup>2</sup>, yielding an average annual runoff of 610 hm<sup>3</sup>. Precipitation is approximately 450mm per year. The maximum recorded inflow (28th September 1958) is 1 550 m<sup>3</sup>/s. The operator and the owner is the Secretaria de Recursos Hidraulicos (SRH).

**Discharge and intake works**

There is a gated surface spillway on the left bank with a capacity of 7 000 m<sup>3</sup>/s. The five gates are 10m wide and 15.10m high, operated electrically from a bridge over them. The spillway chute, 59m wide and 150m long, is curved, with a slope of 0.23. There is a stilling pool 5m deep, 10m wide and 59m long after the chute.

The intake structure is on the right bank, with two tunnels 4.5m in diameter and 780m long. One is used for irrigation, and the other, for the moment plugged off with concrete, is to supply a hydro-electric powerstation in the future. The irrigation tunnel is controlled by two gates at the downstream end; maximum capacity is 20 m<sup>3</sup>/s. The equipment has required no major repairs so far.

**Operation**

The reservoir is drawn down annually.

There is a permanent 5-man shift service operating the dam and appurtenant works. Extra staff are available if necessary.

The flood warning procedure involves firstly data from a national agency which monitors weather events and possesses information on conditions at the more important reservoirs. It uses these data to elaborate runoff predictions with a computer model.

The model uses these predictions to optimize the dam water management strategy, aiming at keeping spillage to the minimum and safeguarding the dam and the public (for example, outflow from the dam is limited to 1 200 m<sup>3</sup>/s) with reference to possible errors between the calculated hydrograph and the hydrograph recorded at a gauging station slightly upstream of the dam. The model can include for spillage from other dams farther upstream.

L'expérience montre que l'abondance des données disponibles dans le bassin permet des prévisions de crues avec une précision de l'ordre de 10 %.

Matériellement, les données sont acheminées vers le Bureau Central par des liaisons hertziennes ou téléphoniques. Ce Bureau traite ces informations pour déterminer les manoeuvres à effectuer. Les ordres sont transmis au personnel de quart qui effectue les manoeuvres volontairement par commande locale électrique.

L'exploitant apprécie beaucoup l'amélioration apportée à l'exploitation des ouvrages par la mise en oeuvre de la procédure décrite ci-dessus : la prise en compte des précipitations permet une anticipation importante de l'appréciation des débits de crues, et donne le temps d'élaborer et d'appliquer une politique de régulation des débits mieux appropriée aux conditions hydro-météorologiques.

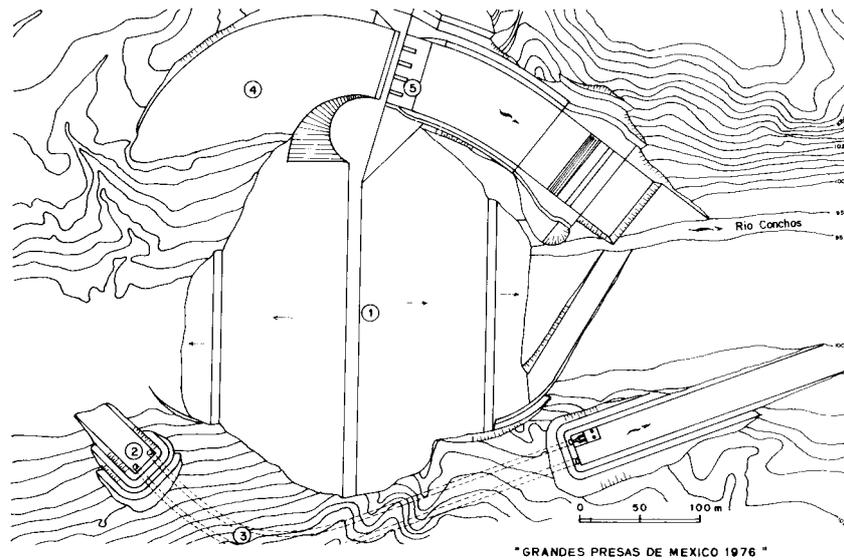


Fig. 6-1

Barrage Luis L. Leon - Vue en plan  
Luis L. Leon dam - Plan view

- |                       |             |
|-----------------------|-------------|
| 1. Barrage            | 1. Dam      |
| 2. Prises d'eau       | 2. Intakes  |
| 3. Galeries           | 3. Tunnels  |
| 4. Évacuateur de crue | 4. Spillway |
| 5. Vannes             | 5. Gates    |

It has been found that the abundance of data available on the catchment gives an accuracy of around 10% in the flood predictions.

Physically, the information reaches the Central Office by radio or telephone. The Office processes the data to determine gate operations required. Instructions are sent to the dam attendants who open the electrically operated gates.

The operator is very pleased with the improvement this procedure has brought. Inclusion of precipitation data in the analysis considerably speeds up the estimating of flood flows, leaving time to prepare and implement the streamflow regulation policy most appropriate to current runoff conditions.

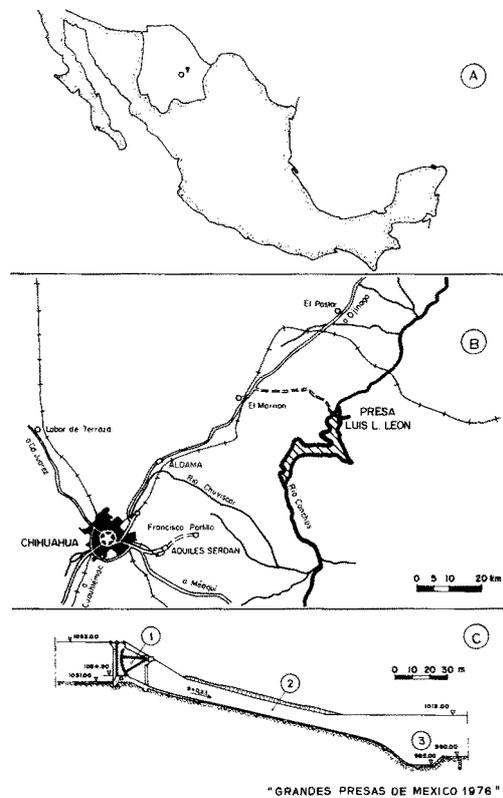


Fig. 6-2

Barrage Luis L. Leon - Luis L. Leon dam

- A. Plan de situation (petite échelle)
- B. Plan de situation (grande échelle)
- C. Évacuateur de crue rive gauche
  - 1. Vannes segment
  - 2. Coursier
  - 3. Bassin d'amortissement

- A. Location map (small scale)
- B. Location map (large scale)
- C. Left bank spillway
  - 1. Radial gates
  - 2. Chute
  - 3. Stilling basin

**ANNEXE 7. EXPLOITATION D'UN BARRAGE A BUTS MULTIPLES  
APPARTENANT A UNE GRANDE ORGANISATION :  
FOLSOM SUR L'AMERICAN RIVER (CALIFORNIE - ÉTATS-UNIS)**

Le barrage de FOLSOM a été construit en 1956 sur l'American River dans l'Etat de CALIFORNIE. L'ouvrage se compose principalement d'un barrage poids en béton de 104 m de hauteur maximale et d'environ 450 m de longueur en crête. Celui-ci est muni de 8 vannes en surface avec coursier en saut de ski composant l'évacuateur de crues principal qui peut débiter 16 000 m<sup>3</sup>/s. Par ailleurs, il existe 8 conduits de vidange en partie basse de l'ouvrage, conduits obturés par une vanne aval.

Le barrage crée une retenue de 1 246 hm<sup>3</sup> de volume total, ce qui correspond à environ le tiers des apports annuels de la rivière. On note que la saison des crues s'étend environ du 1er Novembre au 1er Mai.

Il s'agit d'un aménagement à buts multiples : hydroélectricité, irrigation, défense contre les crues, réserve d'eau potable et industrielle, loisirs. L'aménagement appartient au BUREAU OF RECLAMATION et est géré par lui.

**Contrôles et essais :**

La réglementation interne impose une visite des parties immergées du barrage tous les 2 ans par plongeurs.

Les vannes aval des conduits de vidange sont essayées tous les 3 mois à pleine ouverture et le mécanisme est inspecté tous les ans. Pour les évacuateurs de surface, les essais se font si possible à blanc quand le niveau de la retenue le permet pour éviter des lâchures artificielles trop importantes pour l'aval.

**Exploitation en période normale :**

La conduite des installations hydroélectriques de FOLSOM est assurée en télécommande à partir d'un "Poste de Contrôle d'Exploitation de la Vallée Centrale" (PCEVC). Le barrage de FOLSOM est exploité en tant qu'élément d'un ensemble d'installations qui alimentent en eau et en énergie la Vallée Centrale de Californie (Etats-Unis). Chacune des usines principales du complexe de la Vallée Centrale est télécommandée à partir du PCEVC, où est installé un service de quart permanent (24 heures sur 24). Un petit nombre d'agents, basés sur le site, sont prêts à prendre en charge la conduite des installations en cas de défaillance de la télécommande.

Sur place, et comme sur tous les barrages du Bureau de Réclamation, la consigne à appliquer est définie très précisément par les "S.O.P." (Standing operating procedures), document explicitant pour chaque ouvrage particulier les procédures à suivre et les manoeuvres à effectuer pour suivre la consigne.

## **APPENDIX 7. MULTI-PURPOSE DAM RUN BY A VERY LARGE OPERATOR**

### ***FOLSOM DAM ON THE AMERICAN RIVER, USA***

FOLSOM dam, built on the American River in California in 1956, is a concrete gravity structure 104 m high and approximately 450 m long at the crest. The main overflow spillway surmounting the crest, controlled by eight surface gates and ski-jump chute, is designed for 16 000 m<sup>3</sup>/s. Eight bottom outlets through the dam are controlled at their downstream ends.

Gross reservoir capacity is 1 246 hm<sup>3</sup>, roughly equal to one-third of annual inflow. The flood season lasts from early November to early May.

FOLSOM is a multi-purpose dam providing hydro power, irrigation water, flood control, domestic and industrial water supply and recreational facilities. It belongs to, and is run by, the US Bureau of Reclamation.

#### Inspection and testing

Internal regulations stipulate two-yearly underwater inspection by diver.

The bottom outlet control gates are tested to full opening at three-monthly intervals, and the operating mechanisms are inspected yearly. The surface is tested preferably when the water level is below the sill to avoid releasing large flows into the river.

#### Routine operation

The control of FOLSOM Powerplant is performed by remote supervisory control at the Central Valley Operations Control Center (CVOCC). FOLSOM reservoir is operated as part of a system composed of several reservoirs supplying water and energy requirements in the Central Valley of California, USA. Each of the major Central Valley Project powerplants are controlled from the CVOCC. The CVOCC is manned 24 hours each day of the year. A small number of operators are on standby in the field to manually perform powerplant control should the supervisory control system experience an outage.

Standing Operating Procedures for each USBR dam lay down, in considerable detail, the operations required under all circumstances.

Exploitation en période de crue :

Les techniciens qui déterminent les débits à évacuer, les agents de quart du PCEVC, et les agents présents sur le site du barrage sont en liaison permanente. Le PCEVC est le "quartier général" de l'exploitation en période critique. Pour l'évacuation d'une crue, les lâchures sont ajustées par la manoeuvre des vannes de l'évacuateur. Ces manoeuvres sont effectuées par commande locale motorisée. L'alimentation électrique peut provenir de 3 sources : la centrale électrique, le réseau de distribution, ou un groupe électrogène.

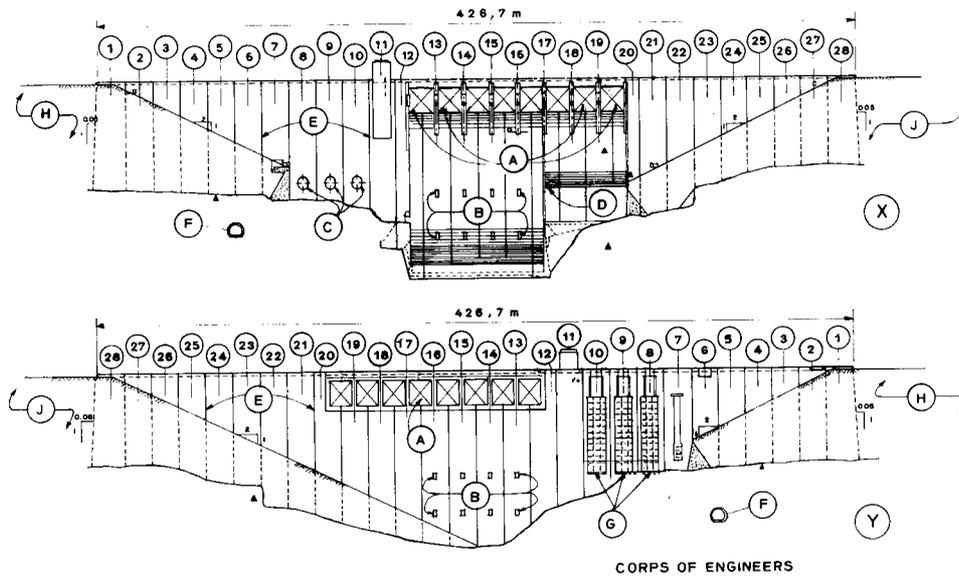


Fig. 7-1

Barrage de Folsom - Folsom dam

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| X. Élévation aval                    | X. Downstream elevation            |
| Y. Élévation amont                   | Y. Upstream elevation              |
| 1 à 28. Plots du barrage             | 1 to 28. Monoliths of the dam      |
| A. 8 vannes segment 12,8 m × 15,25 m | A. 8 radial gates 12.8 m × 15.25 m |
| B. Pertuis de 1,52 m × 2,74 m        | B. 1.52 m × 2.74 m conduits        |
| C. Conduites forcées Ø 4,72 m        | C. 4.72 m Ø penstocks              |
| D. Cuillère de dispersion            | D. Flip bucket                     |
| E. Joints entre plots                | E. Monolith joints                 |
| F. Tunnel de dérivation provisoire   | F. Diversion tunnel                |
| G. Prises d'eau                      | G. Intakes                         |
| H. Digue en aile rive droite         | H. Right wing dam                  |
| J. Digue en aile rive gauche         | J. Left wing dam                   |

Operation during floods

Communication channels are open between the technicians scheduling reservoir releases, the controllers at the CVOCC, and attendants at the dam. The CVOCC serves as the focal point for emergency operations. During a flood operation, releases from the reservoir are adjusted by manipulating spillway gates. These gates are motorized and operate under direct control. There are three power sources : power station, grid, and standby generator.

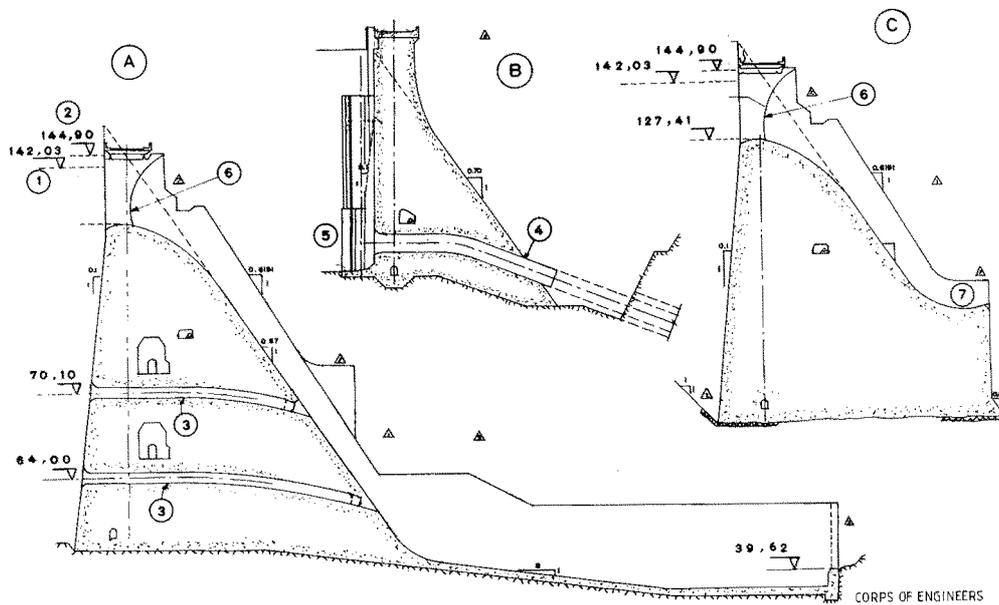


Fig. 7-2

Barrage de Folsom  
Folsom dam

- A. Coupe sur le bassin d'amortissement
- B. Coupe sur la conduite forcée n° 2
- C. Coupe sur la cuillère de dissipation
- 1. Niveau de retenue normale
- 2. Niveau des plus hautes eaux
- 3. Pertuis de 1,52 m × 2,74 m
- 4. Conduite forcée Ø 4,72 m
- 5. Prise d'eau
- 6. Vanne segment
- 7. Cuillère de dissipation

- A. Section through stilling basin
- B. Section through penstock No. 2
- C. Section through flip bucket
- 1. Normal water level
- 2. Maximum water level
- 3. 1.52 m × 2.74 m conduits
- 4. 4.72 m Ø penstock
- 5. Intake
- 6. Radial gate
- 7. Flip bucket

Imprimerie de Montlignon  
61400 La Chapelle Montlignon  
Dépôt légal : décembre 1986  
N° 13099  
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>*