

***AUTOMATED OBSERVATION
FOR THE SAFETY CONTROL
OF DAMS***

**L'AUTOMATISATION
DANS LE CONTRÔLE
DE LA SÉCURITÉ DES BARRAGES**



***AUTOMATED OBSERVATION
FOR THE SAFETY CONTROL
OF DAMS***

**L'AUTOMATISATION
DANS LE CONTRÔLE
DE LA SÉCURITÉ DES BARRAGES**



Report prepared by a Working Group chaired by Prof. M. Fanelli (Italy), of the Committee on Deterioration of Dams & Reservoirs and approved by the 49th Executive Meeting, Stockholm, May 1981.

Rapport préparé par un Groupe de Travail présidé par le Prof. M. Fanelli (Italie) du Comité de la Détérioration des Barrages et Réservoirs et approuvé par la 49^e Réunion Exécutive, Stockholm, mai 1981.

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 OF CONTENTS

1. FOREWORD
2. GENERAL CONSIDERATIONS
 - 2.1. Introduction
 - 2.2. Criteria for the Definition of Monitoring Scheme
 - 2.3. Automation of Observation. State-of-the-Art
3. SAFETY CONTROL
 - 3.1. Introduction
 - 3.2. Logic Structure of Control. Advantages and Limitations for Automation
 - 3.3. Possibility for Automated Monitoring
 - 3.3.1. Measurement
 - 3.3.2. Data Processing
 - 3.3.3. Storage
 - 3.3.4. Interpretation
 - 3.3.5. Safety Evaluation and Decisions
 - 3.4. Behaviour Models
 - 3.4.1. Introduction
 - 3.4.2. Statistical Models
 - 3.4.3. Deterministic Models
 - 3.4.4. Hybrid Models
 - 3.4.5. Critical Remarks on the Three Types of Model
 - 3.4.6. Tolerance limits
 - 3.5. Evaluation and Decision Strategies in Abnormal Performance
 - 3.5.1. Introduction
 - 3.5.2. Strategic decisions in Abnormal Performance. Warning and Intervention Criteria
4. SCHEMES OF AUTOMATION
 - 4.1. Some examples
 - 4.1.1. Introduction
 - 4.1.2. Spanish experience
 - 4.1.3. French experience. Preliminary notes
 - 4.1.4. Italian experience
 - 4.1.5. Portuguese experience
 - 4.1.6. An American experience

TABLE DES MATIÈRES

1. AVANT-PROPOS
- 2 GÉNÉRALITÉS
 - 2.1. Introduction
 - 2.2. Critères pour le choix des dispositifs d'auscultation
 - 2.3. Automatisation des observations. Situation actuelle
3. CONTRÔLE DE LA SÉCURITÉ
 - 3.1. Introduction
 - 3.2. Structure logique du contrôle. Avantages et limites de l'automatisation
 - 3.3. Possibilités d'automatisation de l'auscultation
 - 3.3.1. Au niveau des mesures
 - 3.3.2. Au niveau du traitement des données
 - 3.3.3. Au niveau de l'archivage
 - 3.3.4. Au niveau de l'interprétation
 - 3.3.5. Au niveau de l'appréciation de la sécurité et des décisions
 - 3.4. Modèles de comportement
 - 3.4.1. Introduction
 - 3.4.2. Modèles statistiques
 - 3.4.3. Modèles déterministes
 - 3.4.4. Modèles hybrides
 - 3.4.5. Commentaires sur les trois types de modèles
 - 3.4.6. Limites de tolérance
 - 3.5. Appréciation et stratégies de décision en cas d'anomalies
 - 3.5.1. Introduction
 - 3.5.2. Stratégies de décision en cas d'anomalies. Critères d'alerte et d'intervention
4. SCHÉMAS D'AUTOMATISATION
 - 4.1. Quelques exemples
 - 4.1.1. Introduction
 - 4.1.2. Expérience espagnole
 - 4.1.3. Expérience française
 - 4.1.4. Expérience italienne
 - 4.1.5. Expérience portugaise
 - 4.1.6. Une expérience américaine

- 4.2. Guidelines on the basis of proven experiences
- 5. CONCLUSIONS; RECOMMENDATIONS
- 6. BIBLIOGRAPHY
 - 6.1. Criteria for the Definition of Surveillance Installations. Logic Structure of Safety Control
 - 6.2. Automatic Observation
 - 6.3. Behaviour Models
 - 6.4. Strategies, decisions, alarm and intervention criteria
 - 6.5. Regulations and Recommendations
- 7. APPENDICES

- 4.2. Schéma-guide résultant de l'expérience acquise
- 5. CONCLUSIONS; RECOMMENDATIONS
- 6. BIBLIOGRAPHIE
 - 6.1. Critères pour la définition des dispositifs d'auscultation. Structure logique du contrôle de la sécurité
 - 6.2. Observation automatique
 - 6.3. Modèles de comportement
 - 6.4. Stratégies, décisions, alertes et critères d'intervention
 - 6.5. Réglementations et recommandations
- 7. ANNEXES

1. FOREWORD

The 45th Executive Meeting of the International Commission on Large Dams (Salzburg - September 1977) adopted the following proposal from President Lyra :

"President Lyra proposes adding the following text to the terms of reference of the Committee on Deterioration :

"Within the framework of the terms of reference of the Committee on Deterioration of Dams and Reservoirs, the Committee will have to present a report and recommendations on the automatic observation of dams and instantaneous safety control."

In order to fulfil this task and to prepare the relevant report, Chairman Rocha has set up, in the Committee on Deterioration, a working group which membership is as given below.

Special thanks are given by this group to the National Laboratory for Civil Engineering of Lisbon for its much valuable contribution.*

MEMBERS OF THE TASK GROUP WERE AS FOLLOWS :

LA COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL ÉTAIT LA SUIVANTE :

Prof. M. FANELLI	(Italy/Italie)	Editor/Animateur
J.L. ALLENDE	(Spain/Espagne)	
P. COMBELLES	(France)	
C.A. FLORENTINO	(Portugal)	
G. GIUSEPPE	(Italy/Italie)	
J.D. LYTLE	(USA/États-Unis)	
A. FERREIRA da SILVEIRA	(Portugal)	

1. AVANT-PROPOS

La 45^e Réunion Exécutive de la Commission Internationale des Grands Barrages (Salzbourg - septembre 1977) a adopté la proposition suivante du Président Lyra :

« Le Président Lyra propose que le texte ci-dessous soit ajouté à la mission du Comité de la Détérioration :

« Le Comité de la Détérioration des Barrages et Réservoirs, dans le cadre de la mission qui lui a été confiée, devra présenter un rapport et des recommandations sur l'observation automatique des barrages et le contrôle instantané de la sécurité ».

Pour remplir cette mission et rédiger le rapport correspondant, le Président Rocha a constitué au sein du Comité de la Détérioration un groupe de travail dont la composition est indiquée ci-dessus.

Le groupe de travail tient à remercier tout spécialement le Laboratoire National du Génie Civil de Lisbonne* pour son importante contribution.

* Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

2. GÉNÉRALITÉS

2.1. INTRODUCTION

Une sensibilité particulièrement aiguë de l'opinion publique pour toutes les questions de sécurité – dont témoigne, entre autres, le souci avec lequel on se penche sur les problèmes posés par les installations nucléaires, ou sur les dangers de pollution chimique et thermique – permet de prévoir que les barrages eux aussi seront soumis, à l'avenir, à un examen très poussé et beaucoup plus fouillé et systématique que jadis de leurs conditions de sécurité. Par ailleurs, des signes d'un intérêt accru dans ce sens se retrouvent, depuis plusieurs années déjà, dans les comptes rendus de la CIGB et dans les publications techniques en général.

Les critères rationnels pour aborder cette question sont connus depuis longtemps et appliqués (plus ou moins complètement) dans les pays développés. Il reste, bien sûr, un effort à faire pour dégager les idées fondamentales et les conditions impératives qui devraient servir de base commune à l'évolution, dans tous les pays, de pratiques techniques suffisamment uniformes et bien établies pour le projet, la construction et l'exploitation des barrages.

Dans la suite, on s'efforcera de résumer ce qui ressort des publications récentes (surtout de celles de la CIGB) et d'en dégager des tendances suffisamment partagées par les pays techniquement avancés pour servir de base à des propositions de portée générale.

2.2. CRITÈRES POUR LE CHOIX DES DISPOSITIFS D'AUSCULTATION

Le dispositif d'auscultation d'un barrage sert deux objectifs (d'ailleurs pas indépendants, mais complémentaires) : d'une part, l'analyse, d'un point de vue spéculatif, de son comportement structurel, et, d'autre part, le contrôle de sa sécurité vis-à-vis de la détérioration et de la rupture, de façon qu'on puisse entreprendre assez tôt les actions nécessaires à l'entretien de l'ouvrage et à sa sécurité.

La nature des dispositifs d'auscultation et de surveillance – c'est-à-dire les types d'appareils, leur nombre et leur distribution, la fréquence des mesures, les visites, etc... – dépendra d'abord du type et de l'importance de l'ouvrage. L'établissement de critères de bonne pratique en cette matière a été un des buts de plusieurs groupes de travail de la CIGB, dont le Comité « Observations des Barrages et Modèles » a publié un rapport (Bulletin 23, juillet 1972).

Cependant, la définition du dispositif, dans son détail, ne peut reposer uniquement sur les caractéristiques de l'ouvrage lui-même, car bien des facteurs extérieurs interviennent dans les choix, surtout en ce qui regarde la sécurité. En effet, au-delà des données qui ont permis de définir, d'une façon plus ou moins déterministe, les sollicitations que subit l'ouvrage, il peut exister des conditions extérieures de caractère quelque peu aléatoire et qui peuvent agir sur l'ouvrage de façon non parfaitement prévisible. Ces facteurs ou paramètres – par exemple la sismicité, le risque d'éboulement des rives, le

2. GENERAL CONSIDERATIONS

2.1. INTRODUCTION

Public opinion has become more and more sensitive to safety issues – as witnessed, among others, by the concern surrounding any question about nuclear installation, or any danger of chemical (and even thermal) pollution. It is easy to foresee that dams also will progressively be more and more subjected to a serious scrutiny of their safety conditions; and this, by deeper and more systematic investigations than in the past. On the other hand, symptoms of this sharpened interest are to be found, for many years, in the proceedings of ICOLD as well as in other concerned technical publications.

It is also true that the basic rational criteria, to be used in the question at hand, have been known for a long time and have been applied – more or less fully – in the developed countries. But what remains to be done is an effort to isolate fundamental issues and irrevocable conditions that should form a common basis on which to evolve – in every single country – a practice of sufficient, wellfounded uniformity for design construction and operation of dams.

In the following, a synthesis will be attempted of what emerges from recent publications (especially those of ICOLD). The aim is to detect the trend lines more pronouncedly shared by technically advanced countries, and to formulate – on the basis of these trends – generally acceptable proposals.

2.2. CRITERIA FOR THE DEFINITION OF MONITORING SCHEME

The monitoring scheme of a dam should serve two purposes, not mutually independent, but rather complementary. On one hand, the rational, scientific analysis of its structural behaviour. On the other hand, the monitoring of its safety against deterioration of failure so as to undertake all those actions more suitable to achieve good maintenance and to avoid impending damages.

The nature of the monitoring scheme and surveillance to be chosen (type and number of instruments, their distribution in the dam body, frequency of readings, visits, etc.) will depend in the first place, therefore, on the type and importance of the dam. The establishment of good-practice criteria in this connection has been the particular concern of several Task Groups, particularly within ICOLD; e.g. Bulletin Number 23 (July 1972), published by the Committee on Observation of Dams and Models.

However, the detailed definition of the monitoring scheme cannot be made on the sole basis of the features of the dam, because many external factors are to be taken into account when safety problems are considered. In fact, beyond data allowing a more or less deterministic analysis of external actions, there can arise other environmental conditions having a somewhat random character and acting on the structure in a way that is not amenable to strict forecasting. These factors or parameters, for instance: seismicity, danger of bank slides; floods exceeding design forecasts; aggressive environ-

risque de crues non prévues au moment du projet, les actions agressives du climat ou de l'eau sur les matériaux, des conditions sévères d'exploitation* – peuvent n'avoir pas été convenablement pris en compte dans le projet, et peuvent conduire lentement à des dégâts et à une diminution des conditions de résistance du barrage. Ils constituent donc des facteurs de risque liés aux actions extérieures sur lesquels, au moment du projet, on ne peut porter qu'un jugement qualitatif. Ces facteurs pourront agir sur l'ouvrage de façon plus ou moins sévère selon les conditions de résistance qu'il peut leur opposer. Pour juger de ces conditions, d'autres facteurs sont à prendre en compte, par exemple l'adaptation du projet (peut-être au moment du projet les choix n'ont pas été les meilleurs), les caractéristiques de la fondation, le type et la fiabilité des organes hydrauliques et de leur équipement de manœuvre, l'état d'entretien de l'ouvrage, en partie lié à son âge**. Les matériaux et les méthodes de construction, s'ils sont mal adaptés, influencent aussi l'état d'entretien. Ils constituent des facteurs de risque liés à l'ouvrage lui-même et à son voisinage proche.

Les conditions de risque global ne peuvent, cependant, se limiter à celles liées aux actions extérieures et à l'ouvrage lui-même; elles doivent aussi tenir compte des vies humaines et des valeurs économiques qui seraient affectées par une rupture éventuelle. Le volume du réservoir et tout ce qui est situé en aval (villes, agriculture, industries) sont donc aussi des facteurs à intégrer dans la définition des risques humains et économiques.

En conclusion, on peut dire que le dispositif d'auscultation dépend d'abord de l'importance de l'ouvrage – qui, sous une forme très schématique, peut être évaluée par sa hauteur – mais que ce dispositif (de même que la fréquence de lectures aux appareils) doit tenir compte des facteurs de risque liés aux actions extérieures, à la fiabilité de l'ouvrage lui-même, et aux valeurs humaines et économiques qui seraient affectées par une rupture éventuelle.

En ce qui concerne la périodicité des lectures, l'âge ou la phase d'exploitation de l'ouvrage et les conditions d'exploitation (liées à la fonction de la retenue) doivent entrer en ligne de compte. La première mise en eau est une période critique d'essai, pendant laquelle les conditions de sécurité doivent être minutieusement vérifiées*. Dans les quelques années qui suivent, l'exploitation du dispositif, dans son ensemble, doit surtout permettre une bonne compréhension du comportement de l'ouvrage. Après cette période, la connaissance acquise doit être utilisée pour interpréter les données d'observation. Après une vingtaine d'années, les conditions d'entretien doivent intervenir dans la définition du dispositif d'auscultation.

Les tableaux 1 à 5 constituent, à titre d'exemple, une esquisse d'application des idées qui ont été exposées.

Dans le tableau 1, on affecte des index numériques (α) aux différents facteurs de risque cités ci-dessus, selon une échelle d'évaluation très simple. Les facteurs de risque sont classés en trois catégories suivant qu'ils sont liés aux actions extérieures, à l'ouvrage

* On estime, p. ex., que les barrages des aménagements de pompage sont soumis à des conditions de service plus sévères, du fait de la variation rapide et fréquente de la charge hydrostatique; de plus, le fonctionnement des machines peuvent, dans certains cas, provoquer d'importantes vibrations du barrage.

** On peut constater qu'il y a à présent dans le monde près de 16 000 grands barrages, dont environ 20% (disons 3 000 barrages à l'heure actuelle) âgés de plus de 50 ans. Or, une opinion très largement partagée et basée sur les statistiques conduit à retenir que les risques d'incident ou d'accident pour un barrage déterminé sont plus grands au cours de la première mise en eau complète, et des premières années d'exploitation, ils décroissent ensuite, pour augmenter lentement au fur et à mesure que l'âge du barrage dépasse une limite fixée qualitativement à 50 ans.

mental actions; as well as particularly severe operational conditions* – may have been neglected in the design, so as to lead to damages in time, with a consequent decrease of the resistance capacity of the dam. These factors are potential risk sources tied to actions which can be appraised only in a rather qualitative way, in the present state of our knowledge. The effects on the structure will be more or less severe according to the resistance margins offered by it. In order to have an idea of these conditions, one should take into account other features, for instance the adequacy of design (the original design criteria could have been inadequate), the foundation characteristics, the type and reliability of the operating equipment (proper operating condition of gates or valves) for hydraulic outlets, and the state of maintenance of the dam. The latter can be a factor of the dam's age**, due to aggressive or damaging actions; construction methods and materials, when less-than-adequate, can also influence the maintenance state. All these risk factors, however, still concern either the structure itself or its immediate appurtenances and environment.

But the global safety risks to be considered cannot be limited to those concerning the structure and the actions it withstands: we must also appraise the human and economical values affected by possible failures. The reservoir impounded volume and the extent of downstream installations (towns, agriculture, industries) are factors to be accounted for when trying to pinpoint human and economic implications.

To sum it up, one could say that the monitoring scheme depends first of all on the structural importance of the dam – very schematically, on its height – but they must also be tailored (not only for what concerns their extent and density, but also their reading schedule) to potential risk factors due to external actions, to reliability conditions of the structure and its appurtenances, and to human and economic values affected, if any.

As far as the reading schedule is concerned, the age or the operating phase of the dam must be taken into account as well as the general operating conditions deriving from the reservoir function. The first filling is a critical testing period during which safety conditions must be very carefully appraised*. In a following period of a few years the monitoring operations must lead essentially to the comprehension of the behaviour of the dam. After this period, this knowledge will be used to interpret the necessary observations. After about 20 years, the maintenance conditions of the dam must be duly considered in the definition of monitoring operations.

By way of example, the Tables 1 through 5 present a sketch of the foregoing ideas.

In Table 1, numerical indexes (α_i) are assigned to the different risk factors cited above according to a very simple evaluation scale. The risk factors are classified in three classes, which are referred respectively to actions, to the structure or to values affected

* It is thought, in this connection, that dams creating "pumped storage" reservoirs are exposed to service conditions more severe than usual, due to the cyclical and frequent hydrostatic load variations. Also, for dams adjoining powerhouses, the running machinery can sometimes impart serious vibrations to the structure.

** We can observe there are, worldwide, about 16,000 large dams, among which, about 3,000, or 20% of the total are more than 50 years old. Based on statistics, an opinion largely shared leads to the belief that accidents and incidents are more likely to happen at the first reservoir filling or during the first years of service. These risks decrease afterwards, to increase again slowly when the age of the dam exceeds a limit not far from the 50 years mentioned above.

lui-même ou aux biens affectés par le risque de rupture. La moyenne arithmétique des index pour chaque catégorie constitue un « facteur de risque »; ainsi on détermine, respectivement, le facteur E (d'environnement), le facteur F (de fiabilité), le facteur R (du risque humain et économique). Enfin, on évalue un index de risque global αg par le produit des trois facteurs E, F et R. Dans les tableaux 2 à 5, on utilise cet index αg et parfois quelques index partiels, pour définir le dispositif d'auscultation.

La définition du choix des divers paramètres en tête des colonnes du tableau 1 paraît assez claire. Par exemple, on peut constater un risque de crue supérieure à celle prise en compte dans le projet si les données hydrologiques disponibles actuellement montrent l'insuffisance des évacuateurs de crue existants, qui ont été basés sur des données incorrectes, ou des critères inadaptés. De même, on peut constater une insuffisance de dimensionnement pour quelques barrages anciens, projetés selon des critères imparfaits, ou constater que le dimensionnement est acceptable d'une façon générale, quoique discutable dans certains détails.

Dans le tableau 1, on distingue les situations normales des situations anormales qui imposent des interventions correctives.

Il faut que le choix des différents paramètres soit aussi objectif que possible. Dans ce sens, et à titre d'exemple, on donne, pour la première colonne (sismicité), outre des descriptions qualitatives, des valeurs de vitesse maximale du terrain dont on peut estimer qu'elles ne seront pas dépassées sur une période de 100 ans avec une probabilité de 95 %. D'autres critères semblables pourront être adoptés.

On peut remarquer que, en toute rigueur, la capacité des évacuateurs de crue, leur type et l'état d'entretien de leur équipement ne doivent pas conditionner les dispositifs d'auscultation, mais il est essentiel à la sécurité que leur capacité soit suffisante et que les organes de manœuvre soient efficaces et en bon état. Pour cette raison, on considère simplement, dans les colonnes 3 et 8 du tableau 1, les situations limites d'évacuateur bien dimensionné (index 1, pour les barrages en béton et index 3 pour les barrages en remblais)* ou insuffisant (index 6, note a) et d'équipement fiable (index 1) ou non opérationnel (index 6, note a); on doit remarquer que, si un index global prend en compte un index partiel 6, son application aux tableaux 2 à 5 ne doit se faire qu'après un jugement critique correctif; de plus, un index partiel 6 signifie qu'il est techniquement indispensable d'intervenir. Il faut souligner qu'une grande partie des ruptures de grands barrages est due à l'insuffisance des évacuateurs de crues, et il est important d'encourager les efforts pour vérifier l'adéquation des évacuateurs, surtout pour les barrages anciens. Peut-être ces études pourront-elles être dynamisées par la C.I.G.B.

Dans les tableaux 2 et 3, on suggère très schématiquement les dispositifs d'auscultation, selon la hauteur du barrage et les index établis dans le tableau 1. Les différentes grandeurs sont groupées par types (A, B, C) selon leur fréquence de lectures qui est suggéré aux tableaux 4 et 5.

On a noté dans les colonnes 11 du tableau 2 et 12 du tableau 3 l'intérêt que pouvait présenter l'enregistrement automatique continu des principales grandeurs de la surveillance. Il faut toutefois insister sur l'importance de la présence humaine et sur la nécessité de contrôler périodiquement les valeurs enregistrées. On a aussi noté dans les

* La valeur plus grande de cet index pour les barrages en remblais correspond au risque plus grand associé avec la probabilité de crues exceptionnelles en ce type d'ouvrages, par référence au cas des barrages en béton.

by hazards. The arithmetic average of all indices falling in a given class forms an overall risk factor for that class; in this way we define, respectively, an environmental factor E, a reliability factor F, a potential human/economic hazard factor R. Lastly, a global risk index, α_g , is developed by taking the product of the three partial factors E, F, R. This index, « α_g » – and sometimes also some partial index α_i – are the factors to be taken into account in order to define the monitoring scheme, as explained in successive Tables 2 through 5.

The evaluation scale to assign numerical risk indexes of parameters listed (as column headings) in Table 1 is generally sufficiently clear. For instance, one could detect a risk of floods greater than those considered in the original design, if the hydrological data presently available show the outlets to be insufficient (since in this case they were designed on the basis of incorrect data or according to inadequate criteria). Likewise, one could detect a defective proportioning for some ancient dams – designed according to imperfect criteria – or one could conclude that the design, although generally acceptable, is deficient in some details.

In Table 1, the normal situations are kept apart from abnormal ones which require corrective actions.

It is also good to stress that the evaluation of the different factors should be as objective as possible. For instance, in the first column (headed “seismicity”) beyond qualitative indications, numerical values are indicated for the maximum velocity of ground motion due to an earthquake. These are the values that one can estimate will not be exceeded, within a 95% probability, during a 100 year period at the dam site. Alternatively, other quantitative criteria could be assumed.

One could observe that, strictly speaking, the capacity of spillways or other outlets and the type and state of maintenance of their mechanical equipment cannot have a direct bearing on the monitoring schemes, even if it is essential, safetywise, that their capacity be sufficient and that the operating equipment be efficient and reliable. For these reasons, Table 1 (columns 3 and 8), lists in this connection, only the limit situations : spillways or other outlets well-proportioned (index 1 for concrete dams and index 3 for fill dams* or insufficient (index 6, note a) operating equipment reliable (index 1) or inoperative (index 6, note a). It is to be remarked that, if a global index is computed by taking into account a partial index 6 (or greater) one can not proceed to apply Tables 2 through 5 without a previous corrective appraisal; moreover, the occurrence of a partial index 6 (or greater) will indicate the immediate technical necessity of adequate corrective actions. It is good to stress that a large fraction of dam failures have been caused by insufficient flood outlets, so that it would be important to promote efforts aimed at checking the adequacy of outlets, especially for old dams. These studies could be spurred on by ICOLD.

Table 2 and 3 are intended to suggest, schematically, the monitoring scheme according to the dam height and to the risk indexes as computed following Table 1. The different quantities to be monitored are grouped according to type (A, B, C). The same types appear again in Tables 4 and 5, where reading schedules are tentatively suggested.

Under column 11 (Table 2) and 12 (Table 3) the interest of a continuous automatic recording of the main monitored quantities is considered; however, due account should be taken of the importance of human presence and of the possibility of a periodic checking of the recorded values. Under column 12 (Table 2) and 13 (Table 3) the interest

* The greater value of this index for fill dams corresponds to the greater risk associated with the probability of overflow by an exceptional flood in this type of dam, in comparison with the case of concrete dams.

colonnes 12 du tableau 2 et 13 du tableau 3 l'intérêt d'un système d'alerte des populations, lequel, naturellement, ne serait mis en opération qu'après un jugement d'expertise des situations qui ont suscité une alarme (voir considérations à ce sujet au paragraphe 3.5.2.).

Enfin, dans les tableaux 4 et 5, on suggère la fréquence minimale des lectures du dispositif découlant des tableaux 2 et 3, selon l'âge ou la fonction de la retenue, la hauteur du barrage et les index définis au tableau 1. Il n'est pas facile de prendre en compte tous les cas possibles; ainsi, les tableaux doivent être utilisés avec discernement, *surtout dans les situations inhabituelles*, comme, par exemple, des variations très lentes, ou très rapides, du plan d'eau, ou après des tremblements de terre; dans ces cas quelques corrections seront peut-être nécessaires.

On souligne que ces tableaux sont présentés exclusivement à titre d'exemple. Leur but est de promouvoir des dispositifs d'auscultation et de surveillance aptes à provoquer des interventions adéquates, à minimiser les risques d'incidents, quelle que soit, *a priori*, l'importance des risques potentiels. L'application de ces tableaux devrait généralement conduire à des errements conformes aux usages déjà pratiqués dans de nombreux pays, mais il est évident qu'un complément d'étude et un examen critique sont indispensables. Le thème dépasse la mission du groupe de travail et exige une réflexion plus poussée qu'il n'a eu le temps de faire, mais on pense qu'il serait intéressant de le développer. Dans ce sens, l'application à un nombre significatif de barrages des critères de risques présentés au tableau 1, et la comparaison entre les dispositifs d'auscultation proposés par les tableaux 2 à 5 et les dispositifs effectivement installés, permettraient une critique et une correction sans doute utile de ces tableaux.

2.3. AUTOMATISATION DES OBSERVATIONS. SITUATION ACTUELLE

En ce qui concerne l'automatisation des observations, des réalisations plus ou moins complètes commencent à entrer en service, ainsi que le montre l'analyse de la bibliographie.

De plus, il faut rappeler les organisations centralisées de traitement de données qui existent par exemple en France, à Electricité de France et en cours de développement dans d'autres Pays qui reçoivent les mesures (manuelles ou enregistrées automatiquement) provenant d'un grand nombre de barrages, traitent les données par ordinateur, mettent en évidence les anomalies et les signalent aux responsables des installations concernées, enfin procèdent à l'archivage.

En effet, suivant leur degré d'autonomie, leur disponibilité en personnel spécialisé et en petits ordinateurs, etc., les responsables locaux peuvent gérer eux-mêmes le premier traitement des informations (avec gain de rapidité d'analyse et, le cas échéant, d'intervention) ou attendre la réponse d'une organisation centrale, qui opérera dans des délais généralement plus longs.

Mais il paraît souhaitable que cette organisation centrale existe dans tous les cas (donc même en cas de traitement local des données), avec des fonctions d'archivage central permanent des très nombreuses mesures, mais aussi de centre d'expertise connaissant les techniques les plus avancées de traitement des données et d'interprétation des résultats, doté de moyens de calcul de la taille nécessaire pour faire face au volume d'information à traiter, et accumulant une expérience irremplaçable.

of an alarm system is considered. The alarm to alert concerned populations should, of course, be put into effect only after a professionally competent appraisal of the situations originating the alarm (see in this connection the considerations developed under paragraph 3.5.2.).

Lastly, Tables 4 and 5 suggest the minimum reading schedule for the monitoring installations as defined by Tables 2 and 3, taking into account the age of the dam and reservoir function, the height of the dam and risk indexes as derived from application of Table 1. It is not easy to take into consideration all possible events; so, tables cannot be used without careful judgement, especially if uncommon situations occur, like very slow or very fast changes of water level, or after earthquakes, in which cases the proposals of the tables must be duly corrected.

It is to be stressed that these tables have been presented exclusively as a qualitative example of a possible rational approach. Their intended aim is to define the surveillance scheme so as to identify the more adequate interventions, as well as to minimize the incident risks, no matter how big the a priori potential risks. It is felt that by applying these tables one would end up conforming to the accepted practice of a majority of the developed countries, but it is evident that a careful, critical checking of this feeling should be necessary. This investigation, however, far exceeds the terms of reference and the possibilities of the Task Group; it would entail an analysis of more depth than the available time could afford, but it is judged that it would be very interesting to undertake it. In this connection, one could choose a number of important dams, classify them according to Table 1 criteria and then define their surveillance schemes according to Tables 2 and 3. A comparison of these proposed schemes with those actually chosen would, it is believed, allow a useful critical revision of the proposed tables.

2.3. AUTOMATION OF OBSERVATION. STATE-OF-THE-ART

As far as the automation of the monitoring is concerned, some more or less advanced solutions are beginning to be adopted, as a perusal of recent publications shows.

Beyond that, mention should be made of centralized data processing organizations, such as they exist, e.g., in France or are being set up in other countries, tending to the acquisition of data from several dams (be it done manually or by automatic recording), to their automatic numerical treatment, to evidencing of anomalous trends until communication to the people entrusted with the responsibility of the installations; and lastly, to the creation and updating of permanent data-bases.

In fact, according to the degree of autonomy, to the availability of specialized personnel, of micro-computers etc., the local unit (organization) responsible can either manage the first – stage treatment of information (accruing the advantage of a faster analysis and intervention, if any), or, alternatively, at the cost of longer time-delays, they can wait for the feed-back from a centralized organization as mentioned above.

But it seems convenient that a centralized organization should exist in any case (even if there is a widespread local first treatment of data), in order to fulfill the role of permanent, central archives for the massive amount of measurement data, as well as of centers of competent technical expertise which would accumulate an irreplaceable experience. Such an organization should have at its disposal the most advanced techniques of data-processing and interpretation, as well as suitable "mainframe" hardware suited to the tasks of treating a large volume of information.

On conçoit alors, dans le cas le plus complet, une organisation en deux échelons :

- l'échelon local pour le traitement préliminaire des informations essentielles, qui pourra faire une première mise en évidence de quelques-uns des événements soupçonnés de constituer un symptôme d'anomalie; à ce niveau, on doit disposer de micro-ordinateurs et d'enregistreurs de type économique (cassette musique p. ex.);
- l'échelon central, où confluent (pas nécessairement en temps réel) tous les renseignements nécessaires pour constituer des archives complètes et permanentes. A ce niveau, on devra disposer :
 - de moyens de calcul suffisants (avec disques pour le stockage des informations et autres périphériques : traceur de courbe, imprimante, etc.);
 - d'appareils de lecture des enregistrements provenant de la périphérie, en vue de leur transfert sur support permanent et directement compatible avec l'ordinateur;
 - de personnel ayant l'expérience et les compétences techniques nécessaires pour gérer le traitement et interpréter les données;
 - de moyens de communication et de réception/transmission des informations suffisamment fiables et rapides.

It is to be thought then, in the more complete case, of a twostep organization :

- the local step, intended for preliminary real-time treatment of essential information, originating a first stage alert for those events suspected of indicating anomalous behaviour. At this stage all that is required as hardware are micro-computers and inexpensive recorders (e.g. on musical-type cassettes, etc.);
- the central step, where are gathered from several dam sites (not necessarily in real-time) all information judged useful in order to set up complete, permanent archives. At this stage the requirements are :
 - adequately sized hardware (mainframe computers with disks for storage of large amounts of data and with other peripherals : printer, plotter, etc.);
 - reading units for the records (cassettes, e.g.) coming from the local organization, in view of transferring the information contained therein to a physical support that is both permanent and directly compatible with the mainframe computer ;
 - a staff of personnel having both the technical competence and the experience necessary to manage the treatment and interpretation of data ;
 - telecommunication means (reception/transmission links) to ensure a sufficiently fast and reliable information channel with local units.

TABLEAU 1. — Jugement proposé des conditions de risque

Index partiel (α_i)	Conditions extérieures ou environnantes (facteur E)					Conditions de l'ouvrage — Fiabilité (facteur F)				Risque humain et économique (facteur R) potentiel	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	Séismicité	Danger d'éboulements des rivages	Danger de crues subites à celles du projet	Fonction de la retenue	Actions agressives (Climat, Eau)	Dimensionnement structurel	Fondation	Equipement (Organes d'évacuation)	Entretien	Volume de retenue (m ³)	Installations en aval
1	Très faible ou nul ($v < 4$ cm/s)	Très faible ou nul	Très peu probable (barrages en béton)	Réservoir pluriannuel, annuel ou saisonnier	Très faibles	Adéquat	Très bonne	Fiable	Très bonne	< 10 ⁶	Zone inhabitée et sans valeur économique
2	Faible ($4 \leq v < 8$ cm/s)	Faible			Faibles		Bonne		Bonne	10 ⁶ — 10 ⁶	Maisons isolées agricoles
3	Moyenne ($8 \leq v < 16$ cm/s)		Très peu probable (barrages en remblai)	Réservoir hebdomadaire	Moyennes	Acceptable	Commune		Satisfaisante	10 ⁶ — 10 ⁷	Petits villages, agriculture, artisanat
4	Forte ($16 \leq v < 32$ cm/s)			Réservoir journalier	Fortes					10 ⁷ — 10 ⁸	Centres moyens, industrie
5	Très forte ($v \geq 32$ cm/s)			Pompes	Très fortes					> 10 ⁸	Grandes villes; industries; inst. nucléaires
6 (a)		Danger de grands éboulements	Probable			Insuffisant	Médiocre ou mauvais	Insuffisant; inopératoire	Insatisfaisante		

(a) Conditions anormales — Intervention techniquement indispensable

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha_i$$

$$F = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 \alpha_i$$

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=10}^{11} \alpha_i$$

Index global $\alpha_g = EFR$

NOTE : On souligne que les tableaux 1 à 5 sont présentés exclusivement à titre d'exemple

TABLE 1. - Proposed risk conditions evaluation

Partial index (α_i)	External, or environmental, conditions (factor E)					Dam condition/Reliability (factor F)				Human/economic potential hazard (factor R)		
	Seismicity	Danger of reservoir bank slides	Danger of floods higher than design floods	Reserv. func. (type of storage, management)	Aggressive actions (climate, water)	Structural proportioning	Foundations	Flood outlet equipment	Maintenance conditions	Reservoir storage volume (m ³)	Downstream installations	Human/economic potential hazard (factor R)
1	(1) Minimal or nil ($V < 4 \text{ cms}^{-1}$)	(2) Minimal or nil	(3) Very low probability (concrete dams)	(4) Pluriannual, annual or seasonal storage	(5) Very weak	(6) Adequate	(7) Very good	(8) Reliable	(9) Very good	(10) < 10 ⁶	(11) Non-habitated zone without economical value	(11)
2	Low ($4 < V < 8,1 \text{ cms}^{-1}$)	Low			Weak		Good		Good	10 ⁶ - 10 ⁶	Isolated areas, agriculture	
3	Middle ($8 < V < 16 \text{ cms}^{-1}$)		Very low probability (fill dams)	Weekly storage	Middle	Acceptable	Acceptable		Satisfactory	10 ⁶ - 10 ⁷	Small towns, agriculture, craftsman - ship	
4	Strong ($16 < V < 32 \text{ cms}^{-1}$)			Daily storage	Strong					10 ⁷ - 10 ⁸	Middle-sized towns, small industries	
5	Very strong ($V > 32 \text{ cms}^{-1}$)			Pumped storage	Very strong					> 10 ⁸	Big towns, industries, nuclear installations	
6 (a)		Danger of big slides	High probability			Inadequate	Poor or bad	Insufficient Not operational	Unsatisfactory			

(a) Abnormal conditions ; technically unavoidable intervention

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha_i \quad F = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 \alpha_i \quad R = \frac{1}{2} \sum_{i=10}^{11} \alpha_i$$

Global index : $\alpha_g = E.F.R.$

NOTE : Tables 1 through 5 are presented exclusively as an example.

TABLEAU 2. — Dispositifs d'auscultation et surveillance proposés (Barrages en béton)

(1)	Type A					Type B					Type C					Autres			
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	
Hauteur du barrage (m)	Simple inspection visuelle	Mesures des débits (y compris turbidité)	Piezométrie	Déplacements	Mouv. des joints et fissures	Météorologie	Températures du béton	Extensométrie ou tensométrie	Séismologie	Enregistrement automatique	Alerte								
<15	X	X si $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	X si $\alpha_g > 15$	X si $\alpha_g > 20$	(X) si $\alpha_g > 30$	-	-	-	-	-	-								
15 à 30	X	Débit total X	X	X si $\alpha_g > 10$	(X) si $\alpha_g > 20$	(X)	-	-	X si $\alpha_1 = 5$	(X) si $\alpha_g > 20$	(X) si $\alpha_g > 25$ ou $\alpha_{11} \geq 3$								
30 à 50	X	Débits par-tiels X	X	X	X	X	(X) si $\alpha_g > 20$	-	X si $\alpha_1 \geq 4$	" (X)	" (X)								
50 à 100	X	X	X	X	X	X	(X)	(X)	X si $\alpha_1 \geq 3$	(X)	" (X)								
>100	X	X	X	X	X	X	(X)	X	X	(X)	" (X)								

X — Signifie existence du dispositif ; (X) — Signifie éventuel
 Note : On souligne que les tableaux 1 à 5 sont présentés exclusivement à titre d'exemple.

TABLE 2. — Proposed monitoring installations and surveillance scheme (Concrete dams)

Dam height h (m)	Type A			Type B				Type C			Others	
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
	Simple visual inspection	Seepage discharge measurement (including turbidity)	Piezometric measur.	Displace- ments	Joint & crack movements	Meteorology	Concrete Temperatures	Strain or stress measurements	Seismologic measur.	Automatic recording	Alarm	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
< 15	X	X Total discharge if $\alpha_g > 10$ or $R \geq 3$	X if $\alpha_g > 15$	X if $\alpha_g > 20$	X if $\alpha_g > 30$	-	-	-	-	-	-	
15 to 30	X	X Total discharge	X	X if $\alpha_g > 10$	X if $\alpha_g > 20$	(X)	-	-	X $\alpha_1 = 5$	(X) if $\alpha_g > 20$ or $\alpha_{11} \geq 3$	(X) if $\alpha_g > 25$ or $\alpha_{11} \geq 3$	
30 to 50	X	X Partial dis- charge	X	X	X	X	(X) if $\alpha_g > 20$	-	X $\alpha_1 \geq 4$	(X) as above	(X) as above	
50 to 100	X	X as above	X	X	X	X	(X)	(X)	X $\alpha_1 \geq 3$	(X)	(X) as above	
> 100	X	X as above	X	X	X	X	(X)	X	X	(X)	(X) as above	

X — Installation must be present ; (X) — Installation is optional
Note : Tables 1 through 5 are presented exclusively as an example

TABLEAU 3. -- Dispositifs d'auscultation et de surveillance proposés dans des conditions normales (Barrages en remblai)

Hauteur du barrage h (m)	Type A			Type B			Type C			Autres		
	Simple inspection visuelle	Mesures des débits (y compris turbidité)	Piezométrie	Déplacements superficiels, Contrôle des fissures	Météorologie	Déplacements internes	Contraintes totales	Pressions interstitielles (réponse rapide)	Extensométrie	Séismologie	Enregistrement automatique	Alerte
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
< 15	X	X	X	X						X		
		Débit total si $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	si $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	si $\alpha_g > 15$ ou $R \geq 3$						si $\alpha_g > 9$ et $\alpha_1 = 5$		
15 à 30	X	X	X	X	(X)	X		X		X	(X)	(X)
		Débit total		si $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$		si $\alpha_g > 20$		si $\alpha_1 = 5$		si $\alpha_1 = 5$ si $\alpha_g > 20$		si $\alpha_g > 25$ ou $\alpha_{11} > 3$
30 à 50	X	X	X	X	X	X	(X)	X		X	(X)	(X)
		Débits partiels si $R \geq 3$			si $R \geq 3$	si $\alpha_g > 10$ ou $R > 3$		si $\alpha_1 \geq 4$		si $\alpha_1 \geq 4$		
50 à 100	X	X	X	X	X	X	X	X		X	(X)	(X)
		Débits partiels								si $\alpha_g > 20$ si $\alpha_1 \geq 3$ ou $R > 3$		
> 100	X	X	X	X	X	X	X	X		X	(X)	(X)
		Débits partiels										

X -- Signifie existence du dispositif ; (X) -- Signifie éventuel
 Note : On souligne que les tableaux 1 à 5 sont présentés exclusivement à titre d'exemple.

TABLE 3. — Proposed monitoring installations and surveillance scheme (Fill dams)

Dam height h (m)	Type A			Type B			Type C				Others	
	Simple vi- sual inspec- tion	Seepage discharge (including turbidity)	Piezometric measure- ments	Surface displa- cements	Meteorology	Internal displace- ments	Total stresses	Pore pres- sures (Quick res- ponse)	Strain measure- ments	Seismologi- cal	Automatic recording	Alarm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
< 15	X	X Total dis- charge if $\alpha_g > 10$ or $R \geq 3$	X if $\alpha_g > 10$ or $R \geq 3$	X						X if $\alpha_g > 9$ with $\alpha_1 = 5$		
15 to 30	X	X Total dis- charge	X if $\alpha_g > 10$ or $R \geq 3$	X	(X)	X if $\alpha_g > 20$		X if $\alpha_1 = 5$		X if $\alpha_1 = 5$	(X) if $\alpha_g > 20$	(X) if $\alpha_g > 25$ or $\alpha_{11} > 3$
30 to 50	X	X Partial discharge if $R \geq 3$	X	X	X if $R \geq 3$	X if $\alpha_g > 10$ or $R > 3$	(X)	X if $\alpha_1 \geq 4$		X if $\alpha_1 \geq 4$	(X)	(X)
50 to 100	X	X Partial discharge	X	X	X	X	X	X	X if $\alpha_g > 20$ or $R > 3$	X	(X)	(X)
> 100	X	X Partial discharge	X	X	X	X	X	X	X	X	(X)	(X)

X — Installation must be present ; (X) — Installation is optional
Note : Tables 1 through 5 are presented exclusively as an example

TABLEAU 4. — Fréquence des observations proposée dans des conditions normales (Barrages en béton)
(voir tableau 2 pour référence)

		Fréquence des observations relative aux dispositifs type		
Phase de la vie de l'ouvrage	Fonction de la retenue (type de l'exploitation)	Type A	Type B	Type C
Premier remplissage		Jusqu'à plusieurs fois par jour (si la cote monte et dépendant de la vitesse de remplissage)	Hebdomadaire à plusieurs fois par jour (en fonction de la vitesse de remplissage et de la cote de la retenue)	Hebdomadaire
	Pompage; journalier	Hebdomadaire	Hebdomadaire	
Cinq premières années après le 1 ^{er} remplissage		2 fois par mois ($C_g < 15$); ou hebdomadaire ($C_g > 15$ ou $h > 30$)	2 fois par mois ($C_g < 15$); ou hebdomadaire ($C_g > 15$ ou $h > 50$)	Mensuel ou 2 fois par mois
	Hebdomadaire			
> Cinq années après le 1 ^{er} remplissage		Semestriel ($C_g < 10$ et $h < 15$); Mensuel ($10 < C_g < 15$ ou $15 < h < 30$); 2 fois par mois ($C_g > 15$ ou $h > 30$)	Mensuel ($C_g < 15$) ou 2 fois par mois ($C_g > 15$ ou $h > 50$)	Trimestriel ou mensuel
> 20 ans après le 1 ^{er} remplissage		Les conditions d'entretien de l'ouvrage doivent être prises en compte dans la redéfinition du dispositif d'auscultation et de la fréquence des mesures		

NOTES:

- On souligne que les tableaux 1 à 5 sont présentés exclusivement à titre d'exemple :
- On doit adopter les conditions de fréquence les plus sévères correspondant à la phase de la vie de l'ouvrage ou à la fonction de la retenue :
- Pour des conditions non-habituelles, telles que vitesses de remplissage très rapides ou très lentes, occurrence de tremblements de terre, etc., les indications du tableau doivent être adaptées de façon appropriée ; aussi la phase de construction est un cas spécial à considérer et n'a pas été explicité dans ce tableau du fait de sa petite importance vis-à-vis de la sécurité, dans le cas des barrages en béton.

TABLE 4. — Proposed frequency of readings under normal conditions (Concrete dams) (See table 2 for reference)

Life stage	Reservoir function; storage management type	Frequency of readings according to monitoring installation type:		
		Type A	Type B	Type C
First filling		Up to several times a day (if water level is increasing and according to rate of filling)	Weekly to several times a day (depending on rate of filling and on water level)	Weekly
5 first years after first filling	Daily; Pumped storage	Weekly	Weekly	
		2 times per month ($C_g < 15$) or weekly ($C_g > 15$ or $h > 30$)	2 times per month ($C_g < 15$) or weekly ($C_g > 15$ or $h > 50$)	Monthly or 2 times per month
> 5 years after first filling	Weekly	Semi-annual ($C_g < 10$ and $h < 15$); monthly ($10 < C_g < 15$ or $15 < h < 30$); 2 times per month ($C_g > 15$ or $h > 30$)	Monthly ($C_g < 15$) or 2 times per month ($C_g > 15$ or $h > 50$)	Quarterly or monthly
> 20 years after first filling		The maintenance conditions must be considered when redefining the type of monitoring installations and frequency of readings		

NOTES:

- Tables 1 through 5 are presented exclusively as an example ;
- The most exacting conditions for frequency corresponding to life stage or to reservoir function must be adopted ;
- The indication of the table must be suitably adapted, when uncommon conditions, such as very rapid or very slow fillings, earthquakes, etc. occur ; the construction period is also a special case to be considered and is not expressly included in this table, on account of its minor importance for safety control, in the case of concrete dams.

TABLEAU 5. — Fréquence des observations proposée dans des conditions normales (barrages en remblais)
(voir le tableau 3 pour référence)

Fréquence des observations relative aux dispositifs type			
	Type A	Type B	Type C
Phase de la vie de l'ouvrage	Fonction de la retenue (type de l'exploitation)		
Phase de construction		2 fois par mois à plusieurs fois par semaine, dépendant de la vitesse de construction et des caractéristiques du remblai	
Premier remplissage	Jusqu'à plusieurs fois par jour (si la cote monte et dépendant de la vitesse de remplissage)	Toutes les semaines à plusieurs fois par jour, dépendant de la vitesse de remplissage et du niveau de l'eau	
	Pompes; Journalier	Hebdomadaire	Mensuel
Cinq premières années après le 1 ^{er} remplissage	Trimestriel si $Q_g < 15$ ou $h < 50$; Mensuel si $Q_g > 15$ ou $h > 50$;	Trimestriel si $Q_g < 15$ ou $h < 100$; Mensuel si $Q_g > 15$ ou $h > 100$	Trimestriel
> 5 années après le 1 ^{er} remplissage	Semestriel si $Q_g < 15$ ou $h < 50$; Trimestriel si $Q_g < 15$ ou $h > 50$;	Semestriel	
> 20 ans après le 1 ^{er} remplissage	Les conditions d'entretien de l'ouvrage doivent être prises en compte dans la redéfinition du dispositif d'auscultation et de la fréquence des mesures		

NOTES :

- On souligne que les tableaux 1 à 5 sont présentés exclusivement à titre d'exemple ;
- On doit adopter les conditions de fréquence les plus sévères correspondant à la phase de la vie de l'ouvrage ou à la fonction de la retenue ;
- Pour des conditions non-habituelles, telles que vitesses de remplissage très rapides ou très lentes, occurrence de tremblements de terre, etc., les indications du tableau doivent être adaptées de façon appropriée.

TABLE 5. — Proposed frequency of readings under normal conditions (Fill dams) (See table 3 for reference)

Life stage	Reservoir function; storage management type	Frequency of readings according to monitoring installations type		
		Type A	Type B	Type C
Construction phase			Two times per month to several times a week depending on the growth rate and the characteristics of the fill	
First filling		Up to several times a day (if water level is increasing and according to the rate of filling)	Weekly to several times a day (depending on the rate of filling and on water level)	
	Daily; pumped storage		Weekly	Monthly
5 first years after first filling		Quarterly if $Q_g < 15$ or $h < 50$; monthly if $Q_g > 15$ or $h > 50$	Quarterly if $Q_g < 15$ or $h < 100$; monthly if $Q_g > 15$ or $h > 100$	Quarterly
	Weekly			
> 5 years after first filling		Semi-annual if $Q_g < 15$ or $h < 50$; Quarterly if $Q_g > 15$ or $h > 50$		Semi-annual
> 20 years after first filling		The maintenance conditions must be considered when redefining type of the monitoring installations and frequency of readings		

NOTES :

- Tables 1 through 5 are presented exclusively as an example ;
- The most exacting conditions for frequency corresponding to life stage or to reservoir function must be adopted ;
- The indications of the table must be suitably adapted, when uncommon conditions, such as a very rapid or very slow fillings, earthquakes, etc, occur.

3. CONTRÔLE DE LA SÉCURITÉ

3.1. INTRODUCTION

D'après les intentions du Comité de la Détérioration des Barrages et Réservoirs, ainsi que d'après la pratique et le sens commun, on entend par « Contrôle de la Sécurité » l'ensemble des mesures prises afin de bien connaître l'état actuel de l'ouvrage et de détecter les anomalies éventuelles en temps utile pour intervenir efficacement et corriger la situation, ou, au moins, en éviter de graves conséquences.

Puisqu'il s'agit d'ouvrages comportant des interactions fort complexes avec le milieu environnant, ce contrôle doit se faire d'une manière rationnelle et organisée systématiquement, faute de quoi, il est fort probable que des symptômes de maladie passeraient longtemps inaperçus (à la limite, jusqu'à ce qu'il soit trop tard pour intervenir).

Dans plusieurs pays du monde, les conditions essentielles à remplir pour assurer ce contrôle de la sécurité sont précisés par des règlements techniques plus ou moins officiels.

A travers le temps, le progrès technique a rendu possible l'automatisation d'une partie progressivement croissante des opérations nécessaires à ce contrôle.

Plusieurs réalisations ont déjà été faites, et leur examen permet de dégager certaines lignes générales, quant aux possibilités actuelles et aux tendances à venir ; et aussi quant aux limites à ne pas dépasser.

C'est pourquoi, il a paru bon de tenter une synthèse des critères de base à peu près généralement acceptés, en vue d'assurer une certaine unité – donc une tendance à évaluer de façon homogène le degré de sécurité à conditions analogues – et de rendre plus claires dans l'esprit des techniciens les possibilités et les limites de telles applications.

3.2. STRUCTURE LOGIQUE DU CONTRÔLE. AVANTAGES ET LIMITES DE L'AUTOMATISATION

Le contrôle de la sécurité d'un barrage comporte, dans le temps, deux phases bien distinctes qui diffèrent par la connaissance que l'on a de la tenue de l'ouvrage :

- Pendant la phase de construction et de la première mise en eau, qui constitue l'épreuve du barrage, on ne sait pas encore si l'ouvrage est apte à remplir le service pour lequel il est construit. On rappelle que la moitié des ruptures qui se sont produites dans le monde ont eu lieu pendant cette phase.
- Pendant la phase suivante d'exploitation de l'ouvrage, on a une connaissance expérimentale de sa bonne tenue initiale : on sait qu'il a subi avec succès le premier remplissage complet et que la sécurité restera assurée tant qu'aucune évolution défavorable n'interviendra.

Pendant la phase d'épreuve, il convient donc de s'assurer à tout moment que l'ouvrage se comporte comme prévu, et que la sécurité restera suffisante dans les

3. SAFETY CONTROL

3.1. INTRODUCTION

According to the guidelines laid down by the Committee on the Deterioration of Dams and Reservoirs, also in accordance with the dictates of practical common sense, "Safety Control" is the group of measures taken in order to have an up-to-date knowledge of the condition of the dam and, in the case of occurrence of any anomalies, so detected in due time, to allow such intervention as may be needed to correct the situation or, at least, to avoid serious consequences.

Since the installations are of a kind that involve extremely strong interaction with the environment, control should be rational and systematic, failing which symptoms would probably pass unnoticed for a long time – perhaps even until it was too late to take action.

In several countries, the prerequisites of safety control are stated in more or less official technical regulations.

In the course of time, technical progress has made it possible to automate more and more of the operations required by such control.

Many things have already been achieved, and examination of them enables us to pinpoint certain trends, as regards both the present and the future, as well as limits beyond which it would not be advisable to go.

It is therefore worth attempting to sum up the basic principles that are generally accepted, with a view toward achieving some degree of uniformity – that is, uniform evaluation of the degree of safety under the same conditions – so that technicians can be clearer in their minds on the possibilities and limits of such applications.

3.2. LOGIC STRUCTURE OF CONTROL. ADVANTAGES AND LIMITATIONS FOR AUTOMATION

The safety control of a dam involves, over a period of time, two quite distinct phases, which differ from each other in the knowledge that we have of the soundness of the installation :

- during the construction phase and the first filling of water which tests the dam, it is not yet known whether the installation is capable of performing the task for which it was built. It is worth recalling that half the incidents that occur take place during this phase;
- during the next phase, that of utilization of the dam, experience is gained of its soundness; it is known that it has successfully stood up to the first complete filling, and that safety will continue to be assured as long as no unfavorable developments intervene.

During the test phase, a continuous check should therefore be kept to ensure that the installation is behaving as expected, and that safety will remain sufficient under

conditions extérieures exceptionnelles qui ne peuvent pas être testées (par exemple : crue et séisme). Il faut donc porter un jugement sur la valeur absolue du « coefficient de sécurité » (ou plus précisément, s'assurer qu'on est suffisamment éloigné des limites du domaine de sécurité).

Pendant la phase d'exploitation, comme on l'a déjà dit, on sait que la sécurité restera assurée tant qu'aucune évolution défavorable n'interviendra. Il suffit donc de juger du sens de l'évolution de la sécurité, ce qui est beaucoup plus facile et beaucoup plus sensible que de juger de sa valeur absolue.

Dans tous les cas, les conditions extérieures (charge hydrostatique, température, etc.) sont largement variables et par conséquent la plupart des variables d'observation seront affectées de larges variations, même en comportement normal. Il sera nécessaire de rapporter les mesures à des « valeurs de référence » (ou à des plages de référence) qui soient eux-mêmes fonction de ces conditions extérieures qui caractérisent le domaine normal de comportement; soit – ce qui revient au même – savoir rapporter la variable d'observation à des « conditions standard » (par exemple : barrage plein et conditions de température moyenne), auquel cas la plage de référence peut formellement se réduire à une constante. Il s'ensuit que les données recueillies sur les instruments de mesure doivent subir un traitement pour les transformer en données élaborées permettant un jugement plus facile et plus sûr.

L'expérience a montré que le contrôle rationnel et systématique de la sécurité des barrages devait comprendre plusieurs tâches :

- une inspection visuelle suffisamment fréquente par le personnel chargé de l'exploitation du système d'observation;
- une inspection visuelle périodique par des spécialistes;
- l'exécution à intervalles réguliers des mesures sur le dispositif d'auscultation;
- leur traitement, destiné à transformer ces mesures brutes en données élaborées, et leur validation;
- leur archivage;
- l'interprétation des observations visuelles et des données élaborées;
- l'émission d'un jugement sur la sécurité de l'ouvrage;
- les décisions à prendre en cas d'altération de la sécurité.

Dans l'état actuel de nos connaissances, les renseignements qu'on peut recueillir à travers les mesures et les observations sont incomplets et affectés d'incertitude ou d'erreurs. De même, les « modèles de comportement normal » dont on tire les valeurs de référence ne reflètent que de façon partielle et imparfaite la réalité physique toujours très complexe. De plus, les variables d'observation ne sont pas directement reliées aux variations du degré de sécurité de l'ouvrage.

Il est même possible, en particulier si l'ouvrage ou le dispositif d'auscultation ne sont pas conçus d'une manière appropriée, que des phénomènes importants pour la sécurité soient sans effet sur les grandeurs observées.

Il n'est donc pas possible, actuellement, de définir un procédé formel conduisant, de façon unique et complète, de l'observation et de la comparaison avec le « standard de référence » au jugement final sur la sécurité. Il s'ensuit que l'expérience et l'intuition humaine sont encore largement nécessaires pour franchir les obstacles permettant de juger avec certitude de la sécurité.

Dans toute phase du procédé où il y a une suite d'opérations élémentaires répétitives, bien définies et codifiables, ou lorsqu'existent les appareils automatiques permettant de remplir ces fonctions plus vite, à moindre coût, avec moins d'erreurs que ne le ferait un opérateur humain, l'automatisation devient tôt ou tard inévitable. Mais,

exceptional external conditions that cannot be tested (for example, flooding and earthquakes). An evaluation therefore has to be made of the absolute value of the "safety coefficient" – or, to be more precise, we have to be sure that we are sufficiently below the limit for safety.

During the operation phase, as said above, it is known that safety will be assured as long as no unfavorable external development occurs. It is, therefore, sufficient to judge in which direction the safety situation is moving, which is much easier and much more significant than estimating its absolute value.

In any case, external conditions (the water level, temperature, etc.) vary greatly, and consequently most of the variables observed will be subject to correspondingly wide variations, even when performance is normal. The measurements will have to be related to "reference values" (or reference intervals) that themselves depend on those external conditions, and that characterize normal performance, and/or – this comes to the same thing – one should correct the variable observed for "standard conditions" (for example, full reservoir and average temperatures), in which case the reference value can be formally reduced to a constant. It follows that the data collected will have to be adapted for processing, in order to more easily obtain a more reliable evaluation.

Experience has shown that the rational and systematic control of dam safety should consist of several tasks :

- fairly frequent visual inspection by staff in charge of the observation system;
- periodic visual inspection by specialists;
- regular measurements using instrumentation;
- adaptation of such measurements for transformation into processed data, and their checking;
- storage of the data;
- interpretation of visual observation and processed data;
- issue of an evaluation of the safety of the installation;
- decisive actions to be taken should safety have deteriorated.

At the present state of our knowledge, the information that can be collected through measurement and other observations is incomplete, and fraught with uncertainty or error. Nevertheless, the "normal performance models" on which the reference values are obtained, reflect only partially and imperfectly a physical reality that is always very complex. Moreover, the variables observed are not directly connected with the variations in the degree of safety of the installation.

It is even possible that phenomena relevant to safety may have no effect on the quantities observed, especially if the dam or the monitoring equipment are not adequately conceived.

It is thus impossible, at the present time, to define a single formal procedure that will fully cover observation and comparison with the "reference standard" right up to the final safety evaluation. It follows that human experience and intuition are still to a great extent necessary to overcome the obstacles to a reliable evaluation of safety.

In every phase of the procedure in which there is a sequence of repetitive elementary operations that can be well defined and specified, and where there is automatic equipment that can perform those functions more quickly, at lower cost, and with fewer errors than with a human operator, therefore, automation becomes inevita-

justement, le procédé de contrôle ne peut être entièrement décomposé en fonctions de ce type. Il faut voir là une limite actuelle, et sans doute permanente qui fait que l'automatisation totale du contrôle paraît utopique et peut-être même dangereuse.

Les inspections visuelles par l'exploitant et par le spécialiste, l'interprétation globale des mesures et le jugement sur la sécurité requerront probablement toujours l'intervention humaine.

D'autre part, la conception, l'installation, l'utilisation et l'entretien de tout système automatique partiel demandent une grande expérience technique, soit spécialisée au niveau de la maintenance des appareils, soit générale au niveau du problème de l'interprétation, si bien que la mise en place de ces systèmes ne peut être envisagée que dans un environnement technique suffisamment développé.

3.3. POSSIBILITÉS D'AUTOMATISATION DE L'AUSCULTATION

3.3.1. Au niveau des mesures

Le programme, automatisé ou non, de surveillance et de contrôle du comportement d'un barrage et, partant, de sa sécurité pendant la construction, la première mise en charge et l'exploitation, doit être défini dès le moment de sa conception et doit se développer parallèlement à l'établissement du projet et à la construction ; il doit être fondé sur la connaissance des circonstances et des phénomènes suivants :

- les données météorologiques et tout particulièrement l'hydrologie du bassin versant, y compris l'influence des barrages situés en amont ;
- les données sismiques de la région ;
- le régime d'exploitation auquel le barrage sera soumis ;
- la nature du terrain de fondation du barrage, du réservoir et de celui situé immédiatement en aval, compte tenu de ses caractéristiques géologiques et hydrauliques propres et des modifications introduites par les ouvrages et par le processus de construction ;
- l'ouvrage lui-même dont les caractéristiques définies dans le projet sont aussi influencées par le mode de construction ;
- la vallée en aval, avec son agriculture, son industrie, sa population, etc.

Les trois premiers points fournissent les sollicitations extérieures auxquelles l'ouvrage peut être soumis ; les deux suivants permettent de connaître les sollicitations internes dues au terrain (qui fait partie intégrante de l'ouvrage), aux matériaux et au mode de construction, ainsi que les réactions à l'ensemble de ces sollicitations qui doivent se maintenir dans la normalité, c'est-à-dire, dans les limites prévues. Enfin, le sixième point peut avoir une influence sur le programme de surveillance, étant donné le potentiel des dommages qui peuvent résulter d'un accident, d'une avarie, ou d'un mauvais fonctionnement du barrage.

Comme on ne connaît bien que ce qu'on peut exprimer par des nombres (comme disait Lord Kelvin), on a cherché à relier ces sollicitations et ces réactions à des grandeurs physiques mesurables, ce qui n'est pas facile dans tous les cas. Ainsi on arrive au sujet de cet article 3.3.

Le Groupe de Travail a établi, en se basant sur le rapport du Comité de Détérioration des Barrages et Réservoirs, la matrice de corrélation : « Causes de détérioration -

ble. However, the control procedure cannot be precisely broken down into functions of this type. We had to realize that there is at present a limitation, which will probably be permanent, that makes total automation of control appear wishful thinking, if not actually dangerous.

Visual inspection, both by the operator and by the specialist, overall interpretation of measurements, and safety evaluation will probably always call for human involvement.

On the other hand, the design, installation, utilization, and maintenance of any partially automated system calls for considerable technical experience, whether it be specialized (in the field of instrument maintenance) or general (in the field of interpretation), so that the setting up of such system can only be envisaged against a sufficiently developed technological background.

3.3. POSSIBILITY FOR AUTOMATED MONITORING

3.3.1. Measurement

The monitoring and control program of the behaviour of a dam, concerning its safety during construction, first loading and operation, whether automated or not, shall be defined at the same time as its planning and shall be developed in parallel with its design and construction and will be based on the knowledge of the circumstances and phenomena indicated below :

- meteorologic data and especially hydrology of the catchment area, including the influence of dams existing upstream;
- the seismicity of the site;
- the type of operation to which the dam is to be subjected;
- the materials comprising the foundation beneath the dam, the reservoir and the area immediately downstream of the dam, as a result of its own geological, rheological and hydraulic characteristics and of the changes made in it by the performance of elements provided in the design and by the effects of the construction;
- the actual structure whose characteristics, defined in the design, are also influenced by the construction process;
- the basin downstream; agriculture, industries, urbanization, etc.

The first three points inform on the external factors to which the structure may be subjected; the next two permit to know the possible internal factors, due to the foundation materials – which form part of the structure – to the materials and the construction process, as well as to inform on what should be the reactions of the assembly to all these factors, at least while they are maintained within normal conditions, that is, within the design limits. Lastly, the sixth point could affect the monitoring program on the basis of the possibilities of damages in the event of accident, failure or deficient behaviour of the dam.

In the words of Lord Kelvin, we only “know” well what we can express in numbers. Therefore, we have to relate all these factors and reactions with measurable physical quantities, which is not easy to accomplish in every case. With this in mind we now enter into the subject of this article 3.3.

The Task Group has prepared, based on the Report by the Committee on Deterioration of Dams and Reservoirs, the correlation matrix “Causes of Deficient Behaviour –

méthodes de détection » qui figure dans le tableau 6. Dans sa colonne de gauche, se trouve, pour chaque type de barrage, pour le réservoir et pour les ouvrages annexes, la liste des causes de détérioration* ; dans la partie supérieure figurent les méthodes de détection correspondantes. On a essayé, dans la mesure du possible, d'indiquer dans chaque cas les quantités physiques à mesurer pour assurer la détection de ces détériorations.

On voit dans ce tableau qu'il y a 7 types d'observations ou d'actions qui ne sont pas automatisables (colonnes a à g) et 17 mesures de quantités physiques qui le sont, bien qu'avec difficulté pour certaines d'entre elles (colonnes l à 17).

Dans les observations non automatisables, seule l'observation directe sert vraiment à détecter des détériorations en cours ou naissantes ; cette méthode est toujours employée et elle est sans doute jusqu'à maintenant celle qui a permis de découvrir le plus grand nombre de défauts ; elle est toujours utilisée avant de décider une intervention et elle est le seul moyen de détecter, par exemple l'apparition d'une fissure ou d'une fuite d'eau en un point nouveau du barrage ou du terrain, où n'existe aucun instrument.

La révision du projet et des modes de construction d'après les critères modernes peut constituer une manière de détecter un danger possible, par exemple sur un barrage ancien (s'il est possible de trouver le projet original et si les processus de construction sont connus).

Les quatre autres méthodes non automatisables sont d'une grande utilité pour découvrir les causes d'une détérioration déjà détectée ou pour contrôler sa progression. Pour ce dernier aspect, il est possible que les méthodes photographiques puissent, dans l'avenir, offrir de grands services car elles présentent la possibilité d'automatiser le processus.

À cet égard, on peut dire qu'à l'heure actuelle tout ce qui consiste à capter une image ou à enregistrer les données pour la mesure périodique ou continue d'une grandeur, est susceptible d'être automatisé, abstraction faite du prix.

Les investigations locales sont très diverses : analyses chimiques de l'eau ou des matériaux, extraction d'échantillons, utilisation de colorants ou des traceurs chimiques ou radioactifs pour explorer les cheminements de courants ou de filtrations, etc. Les essais en laboratoire complètent les investigations locales avec lesquelles ils sont le plus souvent en étroite liaison.

Les essais sur modèles physiques ou mathématiques permettent, comme on le sait, de vérifier le comportement de l'ouvrage ou d'une de ses parties touchées par une détérioration, et même d'en étudier la progression.

En ce qui concerne les grandeurs dont les mesures figurent dans le tableau, il convient d'éclairer, en peu de mots, leur signification et d'indiquer à titre d'orientation certains des appareils employés.

– *Mouvements relatifs :*

Ce sont les mouvements relatifs entre deux points dans la direction définie par eux. Ces mesures peuvent détecter des mouvements tels que tassement, mouvements des fondations, glissement des berges, etc.

Appareils employés : extensomètres, extensomètres à longue base, fils et barres.

* Voir chapitre I du rapport du Comité de la détérioration des barrages et réservoirs.

Means of Detection”, shown on Table 6. In the left-hand column of this table, for each type of dam, for the reservoir and for the appurtenant structures, the deterioration causes taken from actual cases* are listed and in the top part of said table the methods for detecting them are also listed, taken from the reports on the above-mentioned actual cases. Everything possible has been done so that these methods be represented by the physical quantities to be measured to ensure the detection of these deteriorations.

It may be noted in the table that there are 7 types of observations or ways to proceed which cannot be automated thoroughly (columns *a* through *g*) and 17 physical quantity measurements which can be automated, although some of them with difficulty (column 1 through 17).

From among the non-automated observations, only the direct observation really serves to detect deteriorations under way or which are incipient. This is nearly always used and is, up to now, perhaps the method by which most defects have been discovered. Direct observations are always carried out before deciding on an intervention and is the only way of detecting, for instance, the appearance of a fissure or a water leak at a point in the dam or of the site without special devices for such observations.

The review of the design and of construction processes according to current day” criteria could be one form of detecting a possible danger, e.g., in an old dam (if it is possible to find the original design and the construction procedures are actually known).

The other four non-automated methods are useful to discover the causes of deterioration which has already been detected or to control its progression. As regards the latter aspect, it is possible that the photographic methods may render great service in the future, since they offer the possibility for automation of their entire process.

In this respect, it can be said everything that consists of capturing an image or of recording the data for the measurement of a quantity in a periodic or continuous way, is capable of being automated irrespective of price.

Local investigations are widely varied : chemical analyses of the water and/or materials, taking of samples, use of dyes or radioactive isotopes as tracers to explore the course of the currents or filtrations, etc. The taking of samples and laboratory tests complement the local investigations to which they are closely related.

The tests on physical or mathematical models make it possible, as is well known, to verify the behaviour of the structure or that part of it which is affected by the deterioration and even to study its possible progression.

In relation to the quantities whose measurements appear in the tables, it is advisable to clarify, in a few words, the specific significance in the case of some of them and to indicate for orientative purpose some of the equipment used.

– *Relative Movements* :

Refers to relative displacement between two points in the direction defined by them. These measurements can detect movements such as land subsidence, foundation movements, slope sliding, etc.

Equipment used : strain gauges, long base strain-gauges, wire and bar extensometers.

* See Chapter I of the Report by the Committee on Deterioration of Dams and Reservoirs.

- *Mouvements verticaux :*
 Vers le haut ou vers le bas.
 Appareils employés : niveaux hydrostatiques, nivellement topographique de précision, cross-arm.
- *Mouvements angulaires :*
 Appareils employés : clinomètres, inclinomètres.
- *Mouvements horizontaux :*
 Appareils employés : pendules directs et inversés, théodolites, collimation, appareils électroniques pour mesurer les distances.
- *Déformations :*
 Appareils employés : extensomètres.
- *Tassements :*
 Affaissements de la fondation dans un type de barrage quelconque ou du barrage lui-même dans les barrages en remblais.
 Appareils employés : nivellement, appareils de mesure de tassement, fils et barres, extensomètres.
- *Sous-pressions et pressions interstitielles* (également niveau des nappes phréatiques) :
 Appareils employés : piézomètres ouverts et fermés.
- *Mesures sismiques :*
 Déplacements, vitesses, accélérations, amplitudes, fréquences.
 Appareils employés : sismographes (accélérographes ou enregistreurs de déplacements).
- *Humidité :*
 Humidité dans l'air et dans le barrage.
 Appareils employés : hygromètres.
- *Températures :*
 De l'air, de l'eau et de la structure.
 Appareils employés : thermomètres à mercure, thermomètres à couple thermo-électrique, à résistance, à corde vibrante, etc.
- *Mesures des précipitations :*
 Appareils employés : pluviomètres, nivomètres.
- *Débites :*
 De filtration et de fuites, débit de drainage.
 Appareils employés : canaux et déversoirs, avec différents systèmes de mesures, électriques, optiques, mécaniques.

– *Vertical Displacements :*

Upward (heave) or downward.

Equipment used : hydrostatic levels, precision topographic levelling devices, and cross arm.

– *Angular Displacements :*

Equipment used : clinometers, slope indicators.

– *Horizontal Displacements :*

Equipment used : direct and inverted pendulums, theodolites, collimations, electronic distance measurement instruments.

– *Strain :*

Equipment used : strain gauges.

– *Settlement :*

Of the foundation (in any type of dam) or of the dam proper, in earth and rock fill dams.

Equipment used : settlement meters, levelling, wire and bar, strain gauges.

– *Uplift and Pore Pressure (Also water table or ground water level) :*

Equipment used : piezometers (open or closed), water gauges.

– *Seismic Measurements :*

Seismicity control, displacements, velocities, accelerations, amplitudes, frequencies.

Equipment used : seismographs (accelographs, or displacement recorders).

– *Humidity :*

Hygrometric measurements, humidity in the air and in the dam.

Equipment used : hydrometers.

– *Temperature :*

Air, water and structure temperatures.

Equipment used : mercury, thermoelectric couple, resistance, vibrating wire thermometers, etc.

– *Rainfall Measurements :*

Equipment used : rain gauges, pluviometers, nivometers.

– *Flows :*

Seepage and leakage flows, drainage flow.

Equipment used : flumes and weirs, with different systems of measurement, electrical, optical, or mechanical.

– *Turbidité :*

Quantité de matériaux fins en suspension dans l'eau, et entraînés par elle.

Appareils employés : turbidimètres.

– *Mesures bathymétriques :*

Mesures de profondeur dans le réservoir pour déterminer les variations topographiques de son fond, et en général, l'épaisseur des dépôts solides.

Appareils employés : sondeurs soniques, radar à balayage latéral.

– *Emission acoustique :*

Mesure des petits bruits produits par les terrains et les structures en se déformant.

Appareils employés : microséismographes, sonomètres.

– *Mesures de joints et de fissures :*

Variations de l'ouverture des joints et des fissures.

Les dispositifs nécessaires sont placés dans les joints pendant la construction et sur les fissures après leur apparition.

Appareils employés : dilatomètres et déformomètres.

– *Contraintes :*

Contraintes de traction et de compression.

Appareils employés : jauges de contrainte.

On constate que, dans de nombreux cas, une même mesure est utilisée pour l'étude de divers phénomènes ; et à son tour, la détection d'un type déterminé de détérioration utilise de nombreuses mesures différentes ; cela tient à ce qu'il n'existe pas une corrélation biunivoque cause-effet, et moins encore, cause-grandeur mesurable.

D'ailleurs, l'interdépendance qu'il y a entre les diverses causes et les divers effets conduit à une redondance à laquelle on se réfère dans le paragraphe 3.3.2. pour éviter les « fausses alarmes » produites par des données erronées.

Au niveau actuel d'automatisation, dans aucun barrage n'est automatisée la mesure de toutes les grandeurs pour lesquelles existe cette possibilité. Dans chaque cas a été automatisée seulement la mesure des deux, trois ou jusqu'à dix grandeurs, rarement plus, qui sont les plus représentatives pour l'auscultation spécifique de ce barrage.

Celles qui sont les plus fréquemment automatisées sont les lectures de pendules, de clinomètres, de débits de filtration et de drainage, de dilatations, d'humidité, de précipitations, quelques piézomètres, quelques thermomètres et, bien sûr, le niveau de la retenue.

Par contre, un nombre limité d'observations, malheureusement assez importantes vis-à-vis de la sécurité, ne paraît pas pouvoir se plier facilement aux moyens actuellement connus d'exécution automatique. Il suffira de citer à titre d'exemple :

- les déplacements mesurés par méthode topographique ;
- l'épaisseur de la glace dans le réservoir ;
- l'apparition ou l'extension de fissures dans le béton ou dans les noyaux d'argile ou de terre ;
- l'apparition de fuites nouvelles.

– *Turbidity* :

Quantity of suspended fine materials contained in the water, also scoured by it.

Equipment used : turbidity-meters.

– *Bathymetric Measurements* :

Measurements of depths in the reservoir to determine the topographic variations of its bottom. In general, the elevations of the reservoir bottom levels produced by silt deposits.

Equipment used : echo-sounders, side-scan radar.

– *Sounding Investigation* :

Measurement of the small noises produced by rock and soil particles and the structures when they deform.

Equipment used : microseismographs, acoustical meters.

– *Joint and Crack Measurements* :

Variations in the opening and sliding of joints or fissures. The necessary devices are placed across the joints during construction or across the fissures after their appearance.

Equipment used : joint meters and deformaters.

– *Stress* :

Tension and compression stresses.

Equipment used : stress meters.

As we can see, in many cases a measurement is used for the study of various different phenomena and, at the same time, for the detection of a specific type of deterioration, many different measurements are used. This is due to the fact that there is no two-way, cause-effect, correlation and much less a measurable quantity for each of the causes.

On the other hand, the interdependence between various causes and various effects, by itself, produces the redundancy to which is referred in paragraph 3.3.2 to avoid the “false alarms” produced by erroneous data.

At the present level of automation, no dam is automated for the obtainment of all the data, although this possibility exists in all dams. In each case, the measurement of only two, three and up to ten quantities, rarely more, has been automated, being the most representative data for the specific monitoring of that dam.

The most frequently automated is the reading of pendulums, clinometers, filtration and drain flows, dilatations, humidity, precipitation, some piezometers, some thermometers, and of course, the level of the reservoir.

On the other hand, a limited number of observations, which are, unfortunately, fairly important as regards safety, do not seem to lend themselves easily to the known methods of automation. Here are some examples :

- displacement, measured by the geodetic method.
- the thickness of ice in the reservoir.
- appearance or extent of cracks in the concrete, or in clay or earth cores.
- appearance of new seepage losses.

De plus, il existe des « conditions : de la structure qu'il convient d'observer et qui ne se prêtent pas à des déterminations quantitatives, univoques et réalisables avec des appareillages automatiques ; par exemple les conditions d'efficacité de l'étanchéité (parement amont ou fondations) et du réseau de drainage, l'observation de nouvelles fuites, etc.

Il est bien évident que ces conditions sont très importantes pour la sécurité d'un barrage : mais la simple constatation qu'il n'y a pas de débit dans le système de drainage ne permet pas de conclure positivement sur l'efficacité de l'étanchéité amont et des drains. Pour juger de la sécurité ou de son évolution, il faut associer les mesures de fuite et leur évolution, aux mesures des sous-pressions et à leur évolution. Par exemple, une diminution des débits du réseau de drainage traduit une amélioration de la sécurité si elle s'accompagne d'une diminution des sous-pressions (l'amont devient plus étanche). Elle traduit une détérioration de la sécurité, si elle s'accompagne d'une augmentation des sous-pressions (les drains se colmatent). Enfin, les installations d'observation sont souvent conçues d'une façon non optimale pour le contrôle.

L'automatisation ne peut donc être que partielle, même au niveau du recueil des données. Des visites fréquentes par le personnel d'exploitation et des inspections directes périodiques effectuées par des spécialistes s'avèrent indispensables pour détecter et interpréter des phénomènes, tels que déformations locales, fissures ou fuites nouvelles, les dégradations dues au gel, qui seraient sans effet sur les grandeurs mesurées mais qui pourraient affecter la sécurité, et le développement de l'automatisation des mesures ne doit pas se faire au détriment de cette surveillance humaine.

3.3.2. Au niveau du traitement des données

Les lectures de certains instruments (ou données) doivent d'abord être transformées en mesures de grandeurs physiques (par exemple : les lectures faites au théodolite seront transformées en déplacements amont-aval et rive droite-rive gauche).

Un deuxième traitement permettra de rapporter les valeurs des grandeurs mesurées aux valeurs de référence déterminées en fonction des conditions extérieures du moment (ou à les transformer en mesures à conditions standard).

Ces traitements sont effectués à l'aide de modèles mathématiques qu'il est souvent plus sûr et plus économique d'effectuer à l'aide d'un programme de calcul sur ordinateur que manuellement. Naturellement, le calcul est précédé d'une validation automatique des données, qui élimine les données aberrantes. Ces données aberrantes proviennent le plus souvent d'un dérangement de l'appareil de mesure, d'une erreur de mesure, d'une erreur de transcription ou d'une erreur de transmission.

Comme nous l'avons déjà indiqué de façon générale dans le paragraphe 3.3.1, plusieurs grandeurs peuvent donner des informations sur un même phénomène et à son tour, chaque grandeur mesurée peut donner des connaissances sur divers phénomènes ; il s'en suit une certaine redondance qui facilite la mise en évidence d'une mesure ou d'un résultat erroné ne concordant pas avec les autres résultats, que les traitements soient automatisés ou non. On procède alors immédiatement à une nouvelle mesure, et, en cas de persistance de l'anomalie, on vérifie l'instrument de mesure. En cas d'anomalie réelle, il faut alors en rechercher les causes et y porter remède.

Moreover, there are structural “conditions”, that should be watched, that do not lend themselves to unequivocal, quantitative determination with automatic equipment; for example, conditions regarding watertightness (of the upstream face or of foundations) and the drainage network, observation of fresh leaks, etc.

Obviously, such conditions are of the greatest importance for the safety of a dam; but the simple fact that there is no outflow in the drainage system, does not make it possible to conclude that everything upstream of the drains is watertight. To evaluate safety or its development, it is necessary to associate the measurements of leakages, or their development, with the measurements of the uplift pressures, or with their development. For example, a decrease in leakages from the drainage system can be taken as an improvement in the safety situation if accompanied by a decrease in uplift pressures (because the upstream zone becomes more watertight). On the other hand, it may be taken as a deterioration in the safety situation, if accompanied by an increase in uplift pressures (which means that the drains are becoming clogged). Lastly, the monitoring schemes are often designed in a way that is far from the best for control purposes.

Automation, therefore, can only be partial, even in the matter of data collection. Frequent inspection, carried out by local teams, as well as periodic visits carried out by skilled personnel, is indispensable for detecting and interpreting such things as local deformation, new cracks or leaks, or deterioration due to frost, which would have no effect on the quantities measured, but which might affect safety; and automation of measurements should not undermine human surveillance.

3.3.2. Data Processing

The readings from certain instruments, or data, need first of all to be transformed into measurements representing physical quantities; for example, readings taken on the theodolite will have to be transformed into upstream/downstream and right bank/left bank displacements.

A second processing stage makes it possible to compare the values for the quantities measured with the reference values determined as a function of external conditions at a given time, or to transform them into measurements under standard conditions.

Such processing is done with the help of mathematical models, which often is more reliable and economical to do using a computational code on the computer than manually. Naturally, the calculation is preceded by an automatic check of the data, which eliminates erroneous ones. These erroneous data usually stem from a defect in the measuring instruments, a measuring error, an error of transcription, or an error of transmission.

In general and as mentioned in paragraph 3.3.1, several quantities inform of one and the same phenomenon and, in turn, each measured quantity can give knowledge which can be applied to several different phenomena. This produces a certain redundancy which simplifies the finding of a datum or an erroneous value which does not conform with the rest, both in automated processes as well as in those that are not, in order to immediately proceed to obtain it a new and, in the case of persistency in the anomaly, one checks the instrument. If the anomaly has an actual cause, then it is necessary to investigate and correct the causes of same.

Après traitement, l'ordinateur signale les résultats qui sortent de la plage normale d'incertitude de la grandeur mesurée, que cette incertitude soit due à l'imperfection de l'instrument de mesure ou à celle du modèle mathématique. C'est la validation des résultats. Naturellement, si certains instruments sont automatisés, ils pourront transmettre directement les mesures à l'ordinateur après calibrage.

3.3.3. Au niveau de l'archivage

L'archivage automatique des données et du résultat de leur traitement (données élaborées) est le complément obligatoire de l'automatisation du traitement. Il doit être conçu de telle façon que puissent y être repris, d'une part les données, c'est-à-dire les lectures faites aux instruments, afin de pouvoir reprendre ultérieurement les calculs avec un modèle mathématique plus perfectionné ou mieux adapté, d'autre part, les données élaborées afin de pouvoir analyser ultérieurement l'évolution du comportement de l'ouvrage.

3.3.4. Au niveau de l'interprétation

A ce niveau, l'automatisation est toujours possible en ce qui concerne l'exécution des modèles de comportement. Ces modèles sont traités à l'article 3.4.

3.3.5. Au niveau de l'appréciation de la sécurité et des décisions

Il faut ici mettre en évidence qu'il ne suffit pas d'avoir automatisé le traitement des données relatives à certaines grandeurs d'observation (ou même de toutes celles qui admettent une telle automatisation) pour affirmer qu'on a « automatisé le contrôle » : le passage de l'analyse individuelle des différentes mesures au jugement final de sécurité n'est pas – jusqu'à présent – codifiable dans un système formel d'opérations, condition essentielle à la possibilité d'une automatisation.

L'interprétation quantitative automatique de certaines mesures doit s'intégrer dans le contexte de toutes les connaissances et expériences antérieures y compris les observations non-automatiques. Dans ce contexte, la question d'émettre des « alarmes » automatiques si l'interprétation de certaines grandeurs révèle des écarts excessifs par rapport aux standards de référence (validation des résultats), acquiert une signification limitative bien précise ; il s'agit tout simplement d'attirer l'attention des responsables de la sécurité sur les variables qui montrent une tendance à sortir d'une manière significative du champ de comportement normal. Une telle fonction de « filtre » est certainement utile et même nécessaire si les grandeurs contrôlées sont très nombreuses, mais ce qui passe à travers le filtre (la signalisation des grandeurs soupçonnées d'un comportement anormal) doit encore être soumis au jugement humain de l'expert, qui prendra en compte ces informations avec tous les autres renseignements – quantitatifs et qualitatifs – dont il dispose.

3.4. MODÈLES DE COMPORTEMENT

3.4.1. Introduction

On a vu que l'interprétation des mesures nécessite une comparaison de ces dernières avec des valeurs de référence ou leur transformation à conditions standard, et

After processing, the computer "signals" the results which exceed the normal limits of uncertainty as to the quantity measured, whether that uncertainty be due to the imperfection of the measuring instrument or to that of the mathematical model. Such is the checking of results. Of course, if certain instruments are automated, they can transmit the measurements direct to the computer after calibration.

3.3.3. Storage

The automatic storage of data and of the results of processing (transformed data) is an indispensable part of automated processing. It must be so designed as to include, on the one hand, the data – that is to say, the readings of the instruments, so that calculations can be resumed later with a perfected or more suitable mathematical model – and, on the other hand, the transformed data, so that the development of installation performance can be further analyzed.

3.3.4. Interpretation

The automation of the interpretation is always possible in what concerns behaviour models. These models are referred at article 3.4.

3.3.5. Safety Evaluation and Decisions

It must be pointed out that it is not enough to have automated data processing for certain observed quantities, or even all the quantities that admit of automation, to be able to say that "control has been automated". The transition from individual analysis of the different measurements to the final safety evaluation has not, so far, lent itself to encoding in a formal operating system-condition that is essential if automation is to be introduced.

The automatic quantitative interpretation of certain measurements should come within the context of all previous knowledge and experience, including non-automatic observation. In this context, the question of sending out automatic "alarms" if the interpretation of certain quantities produces deviations that are excessive in relation to the reference standards (checking of the results), takes on a very definite limitative meaning. It is simply a question of drawing the attention of those personnel responsible for safety to the variables which exhibit a tendency to exceed the range of normal behaviour. This "filter function" is certainly useful, and even necessary if the quantities controlled are very numerous, however, what passes through the filter (indication of quantities suspected of abnormal behaviour) still has to be submitted to the human judgment of the expert. The expert must take into account those indications, together with all the other information, both quantitative and qualitative, at his disposal.

3.4. BEHAVIOUR MODELS

3.4.1. Introduction

As we have seen, interpretation of the measurements requires a comparison of the currently computed data with reference values, or their transformation into standard

que doit donc être prise en compte l'influence de toutes les variations intervenant dans l'environnement du barrage.

Il s'ensuit qu'il est nécessaire d'établir un procédé, un modèle mathématique, pour remonter des conditions de l'environnement aux valeurs de référence ci-dessus. Ce modèle pourra, soit s'appuyer sur l'expérience du passé (modèle statistique), soit sur une formalisation logico-mathématique des lois auxquelles le barrage est censé obéir (modèle déterministe), soit enfin sur les deux ordres de considérations à la fois (modèles hybrides).

Dans chaque cas, il s'agit donc d'établir un lien entre un groupe de variables considérées comme « causes » du comportement, imposées par les conditions extérieures au barrage, et un autre groupe de variables considérées comme « effets » caractérisant la réponse de l'ouvrage à ces actions*, ce lien étant recherché à travers des procédés de corrélation statistique pour les modèles du même nom, en partant des connaissances sur la géométrie de l'ouvrage et sur les propriétés physiques et rhéologiques des matériaux et des fondations, pour les modèles déterministes; enfin, dans le cas des modèles « hybrides », le premier type de procédé est utilisé pour certaines composantes des effets en question et le deuxième type pour les autres composantes.

3.4.2. Modèles statistiques

Pour établir un modèle statistique de comportement, il est nécessaire de disposer de séries chronologiques (aussi complètes et homogènes que possible) de données concernant les grandeurs « causes » et les grandeurs « effets ».

Les procédés bien connus de l'analyse statistique des corrélations (analyse de variance, de covariance, etc.) permettent alors de reconnaître :

- si un lien fonctionnel est décelable à un niveau donné de signification statistique;
- dans le cas affirmatif, d'estimer les paramètres les plus vraisemblables de la corrélation fonctionnelle.

Un sous-produit de l'analyse consistera dans la définition de la distribution des écarts entre les grandeurs « effets » observées et leurs valeurs de référence données par le modèle de corrélation établi. Ces modèles sont jusqu'à présent les plus utilisés pour la surveillance des barrages en remblais parce que les plus faciles à adapter (voir paragraphe 3.4.5.).

3.4.3. Modèles déterministes

On schématise l'ouvrage et ses fondations comme un solide de forme géométrique connue, doté de propriétés physiques et rhéologiques, plus ou moins bien connues, et soumis à des actions extérieures (pressions hydrostatiques, variations thermiques). Un procédé de calcul de la structure (par exemple aux éléments finis) permettra alors en principe de relier la réponse « de référence » du barrage à des actions extérieures quelconques. Il faut remarquer que, pour les barrages en remblai, du fait que leur comportement est très dépendant de l'évolution des sollicitations, il convient de prendre en compte toute l'histoire antérieure du barrage y compris la période de construction.

En réalité, des considérations à la fois théoriques et pratiques ont montré l'intérêt de rechercher la réponse en question à travers un procédé indirect : on cherche à définir

* Parmi les grandeurs « causes », retenons surtout le niveau de la retenue et les températures extérieures ou intérieures (ou la saison de l'année si les températures ne sont pas mesurées), parmi les grandeurs « effets », les déplacements, les dilatations, les fuites d'eau, les pressions piézométriques, les contraintes effectives, etc.

conditions, and an account has to be taken of the influence of all the variations that occur in the dam's environment.

It follows that it is necessary to establish a procedure, a mathematical model, to work back from the environmental conditions to the aforementioned reference values. This model will be able to rely on experience of the past (statistical model), on a logical-mathematical formalization of the law that the dam is thought to obey (deterministic model), and, lastly, on both of those orders of consideration together (hybrid model).

In each case, it is therefore a question of establishing a link between a group of variables considered as the "causes" of behaviour, imposed by the dam environment, and another group of variables considered as the "effect" characterizing the structural response of the dam to these actions*, this link being sought through statistical correlation procedure for the models of that name; starting from our knowledge on the geometry of the installation, of the acting loads and of the physical and rheological properties of the materials and foundations, in the case of deterministic models; and lastly, in the case of "hybrid" models, the first type of procedure is used for certain components of the effects in question and the second type for other components.

3.4.2. Statistical Models

In order to establish a statistical behavioural model, it is necessary to have available chronological series of data in respect of the "cause" and "effect" quantities that are as complete and homogeneous as possible.

The well-known statistical analysis of the correlations (analysis of variance, covariance, etc.) will then enable us to :

- ascertain whether a functional link can be detected at a given level of statistical significance, and
- if so, estimate the most probable functional correlation parameters.

A by-product of the analysis will be the definition of the distribution of the deviations of the "effect" of quantities observed and their reference values as given by the correlation model established. These models are at present the most used toward the surveillance of fill dams because they are easier to implement (see paragraphs 3.4.5).

3.4.3. Deterministic Models

A scheme is established of the installation and its foundations, which is represented as a solid of known geometrical shape possessing more or less well-known physical and rheological properties, and subjected external actions (hydrostatic pressure, thermal variations), defined in a suitable way. A procedure for analyzing the structure – for example, finite element – will then enable us, in principle, to relate the "reference" response of the dam to any external action. It must be noted that in the case of fill dams, the effect of all the previous history of the dam, including the construction stages, must be taken into account as their behaviour is very dependent on the loading history.

In practice, both theoretical and practical considerations have shown that it is worth seeking this response by means of an indirect procedure : an attempt is made to

* Among the "cause" quantities, we would above all include the reservoir water level and the external or internal temperature (or the season of the year, if temperatures are not measured); the "effect" quantities include displacement, dilatation, water leaks, piezometric pressures, effective stresses, etc.

un nombre limité d'actions extérieures « unitaires », de façon à ce que chaque situation de charge soit réalisable par simple superposition (ou interpolation) des cas de charge élémentaires. Ainsi, il est nécessaire d'effectuer les calculs les plus lourds (analyses aux éléments finis par exemple) seulement une fois au début, pour toutes les fonctions de charges unitaires : les réponses à des cas réels de charge sont alors données – dans l'hypothèse souvent admissible de comportement linéaire – par combinaison linéaire des cas de charges élémentaires. Il s'agit là d'une hypothèse simplificatrice qui est normalement valable pour les barrages en béton, tandis que pour les barrages en remblais, il faut retomber sur des hypothèses plus générales (et par là plus lourdes à mettre en œuvre).

Pour mettre en œuvre ce procédé, on doit disposer de données de mesure concernant le niveau de la retenue et les températures (au moins celles de l'air et de l'eau), ainsi que de renseignements sur les caractéristiques physiques et rhéologiques des matériaux*.

Un procédé d'étalonnage de ces caractéristiques, fondé sur la comparaison des « prévisions » du modèle avec les valeurs correspondantes observées sur une période de temps suffisamment longue (et soustraite à l'influence des perturbations initiales), permet très souvent d'améliorer remarquablement la précision du modèle et d'évaluer en même temps d'une manière correcte les caractéristiques statistiques des écarts entre prévisions et observations.

3.4.4. Modèles hybrides

On a parfois recours à ces modèles dans le cas où existent les données (par exemple, mesure du niveau de la retenue) nécessaires pour estimer une composante des effets, mais où on ne dispose pas des données indispensables pour estimer d'autres composantes (par exemple, on ne mesure pas les températures du béton, ni même celles de l'air et de l'eau, donc on ne peut pas alimenter un modèle déterministe des effets thermiques). Dans ce cas, une estimation statistique d'une composante saisonnière, donc fonction seulement périodique du temps, pourra fort bien accompagner un modèle déterministe de la déformation élastique du corps du barrage due aux variations de charge hydrostatique.

3.4.5. Commentaires sur les trois types de modèle

Pour établir un modèle statistique valable, il faut disposer d'un nombre suffisant d'observations, embrassant un éventail suffisamment varié de grandeurs « causes ». Le modèle ne pourra donc être employé pour le contrôle qu'après un certain temps d'observation. Il sera donc inopérant pendant le premier remplissage de la retenue, qui est la phase la plus délicate de la vie de l'ouvrage. Par contre, il permet d'analyser toutes les sortes de mesures effectuées sur tous les types de barrage, et il permet de mettre très facilement en évidence l'évolution dans le temps du comportement de l'ouvrage. Il est donc bien adapté à la surveillance en exploitation. De plus, l'établissement du modèle est très facile et très rapide, et ne nécessite aucune connaissance préalable de la géométrie du barrage ni des propriétés des matériaux.

* Telles que : module d'élasticité et coefficient de Poisson du béton et du rocher, coefficient de dilatation thermique, conductivité et capacité thermique du béton et du rocher, propriétés physiques et rhéologiques des sols et des terres.

define a limited number of external “unit” actions in such a way that each load situation can be created by the simple superposition (or interpolation) of the elementary load cases. It is necessary to perform weightier computations (finite element analyses, for example) only once, at the beginning, for all the “unit” functions. The responses to real load cases are then given, on the often admissible assumption that behaviour is linear, by linear combination of the elementary load cases. This is a simplified assumption which is normally acceptable for concrete dams. On the contrary, for fill dams, it is necessary to resort to more general hypothesis, that are however, more cumbersome to translate into practical application.

To put this procedure into practice, it is necessary to have available the measurement data concerning the water level of the reservoir and the temperature (at least, the air and water temperatures), as well as information on the thermal and rheological characteristics of the material*.

A procedure for standardizing these characteristics, based on comparison of the “forecasts” of the model with the corresponding values observed over a sufficiently long period of time (without the influence of initial disturbances), very often makes it possible to improve the precision of a model to a remarkable degree, and, at the same time, to make a correct evaluation of the statistical characteristics of the differences between forecast and observed values.

3.4.4. Hybrid Models

Recourse is sometimes had to models of this type in cases where there exist data (for example, water-level measurements) needed for estimating an effect component, but in which there are none of data that are indispensable for estimating other components (for example, the temperature of the concrete is not measured, nor even that of the air and the water, so that a deterministic model cannot be supplied with the thermal effects). In this case, a statistical estimate of a seasonal component – in other words, only a periodic time function – may suitably accompany a deterministic model of the elastic deformation of the body of the dam due to variation in the hydrostatic load.

3.4.5. Critical Remarks on the Three Types of Model

To establish a valid statistical model, it is necessary to have available a sufficient number of observations, taking in a sufficiently varied range of “cause” quantities. The model will not, therefore, be able to be used for control until after an adequate or a sufficient amount of observation data are collected. It will, therefore, be unavailable for “control” during the first filling of the reservoir, which is the most critical phase in the life of the dam. On the other hand, the model does make it possible to analyze all kinds of measurement made on all types of dams, and is convenient to show the evolution over a period of time of an installation’s performance. It is, therefore, well suited for “control” during operation of the dam. Moreover, it is both easy and quick to set up such a model, that calls for no previous knowledge of the geometry of dam or of the properties of the material.

* Such as, elasticity modulus and Poisson ratio for the concrete and rock, the thermal capacity of the concrete and the rock, and the physical and rheological properties of the soils and terrains.

Un bon modèle déterministe est le seul qui puisse permettre de déterminer certaines valeurs de référence indispensables au contrôle de la sécurité pendant la première mise en eau. Cependant, les propriétés des matériaux utilisés dans le corps du barrage ne sont connus qu'avec une certaine incertitude. Il en est de même, avec une incertitude bien plus grande encore, pour des matériaux constituant la fondation. Pour chaque état de grandeurs « causes » et pour chaque grandeur « effet », on ne peut donc définir au début de la vie de l'ouvrage qu'une « plage de référence » assez large, et non une « valeur de référence » caractérisant le comportement normal. Cette imprécision des modèles déterministes est évidemment gênante pour une bonne surveillance de la première mise en eau.

Un moyen plus efficace que la simple comparaison de la mesure avec la plage de référence consiste à corriger par un modèle adéquat l'effet des variations thermiques, pour ramener la mesure à ce qu'elle serait dans des conditions de température standard, et à vérifier que la loi expérimentale de variation de la mesure ainsi corrigée avec la cote du plan d'eau est conforme à la loi théorique. On détecte ainsi les anomalies de comportement bien avant que les résultats de mesure ne sortent de la plage de référence. On a vu qu'ultérieurement, la confrontation du modèle théorique avec les résultats observés permettait d'étalonner les constantes du modèle ou même d'améliorer la modélisation, de façon à réduire l'incertitude.

Mais, pour certaines grandeurs (par exemple, les débits des fuites d'eau) on n'a pas l'habitude de formuler des modèles déterministes. Seuls les modèles statistiques peuvent alors être employés. De même, les modèles déterministes sont actuellement impuissants à modéliser globalement le comportement des barrages en remblais. On a déjà remarqué, d'ailleurs, qu'aucun modèle, en réalité, ne reste purement déterministe, et les valeurs les plus vraisemblables des constantes physiques et rhéologiques sont données par des analyses statistiques, même pour les modèles déterministes.

3.4.6. Limites de tolérance

Enfin, une analyse statistique des écarts entre prévisions du modèle et observations correspondantes est en tout cas nécessaire pour définir l'ampleur à donner à « la plage de tolérance » de ces écarts. On entend par là, qu'il ne sera possible d'attribuer une valeur d'alarme à ces écarts que s'ils dépassent d'une quantité statistiquement significative la variabilité naturelle de la distribution des écarts observés en régime de « comportement normal » sur une période de longueur convenable.

Evidemment, il y a là un certain degré d'arbitraire qui fait que le seuil d'alarme pour les écarts ne puisse encore – comme il serait souhaitable – être lié à des considérations rationnelles de risques et de coûts.

3.5. APPRÉCIATION ET STRATÉGIES DE DÉCISION EN CAS D'ANOMALIES

3.5.1. Introduction

Il y a aussi d'autres problèmes, fort difficiles à résoudre mais qu'il convient au moins d'évoquer. Par exemple : dans l'hypothèse où l'écart dépasse le seuil d'alarme, quelles sont les procédures à suivre et les décisions à prendre ?

A good deterministic model is the only one allowing to obtain certain reference values indispensable for safety control during the first reservoir filling. However, the properties of the materials used in the body of the dam are not known with complete certainty. The same applies, with much more uncertainty, to the materials forming the foundation. For each state of "cause" quantity and for each "effect" quantity, it is therefore only possible, at the beginning of the installation's life time, to define a fairly wide "reference interval", but not a "reference value", characterizing normal behaviour. This initial lack of precision relative to deterministic models is obviously a drawback from the point of view of control during the first reservoir filling.

A more effective means than simple comparison of the measurement with the reference interval consists in correcting the effect of the thermal variations with an adequate model, in order to change the measurement to what it would be under standard temperature conditions and to check that the experimental law of variation of the measurement thus corrected with the water level conforms to the theoretical law. In this way, we can detect anomalies in behaviour long before the results of measurements exceed the reference interval. Moreover, we have seen that by comparison of the theoretical model with the results of observation it may be possible to "calibrate" the model constants (or even to improve modelling) thus reducing the uncertainty.

For certain quantities (for example, water leakage flow), it is not common to formulate deterministic models. Only statistical models can, therefore, be used. Likewise, deterministic models cannot give an overall picture of the behaviour of fill dams, at present. Moreover, it has already been noted that no model is, in fact, purely deterministic, and the most probable physical and rheological constants values are provided by statistical analyses, even for deterministic models.

3.4.6. Tolerance limits

Lastly, a statistical analysis of the deviations between model forecasts and the corresponding observation is, in any cases, necessary for definition of the width to be given to the "tolerance interval" of those deviations. By this we mean that it will only be possible to assign an alarm value to those deviations if they exceed, by a statistically significant amount, the natural variability of the distribution of the deviations observed under "normal" conditions over a suitably long period.

Obviously, this criterion is to some extent arbitrary, and means that the alarm threshold for the deviations cannot yet – desirable though it might be – be associated with rational considerations in respect of hazard and cost.

3.5. EVALUATION AND DECISIONS STRATEGIES IN ABNORMAL PERFORMANCE

3.5.1. Introduction

There are also other problems which are extremely difficult to solve, but which should at least be mentioned. For example: assuming that the deviation exceeds the alarm threshold, what procedures should be followed and what decisions taken?

Pour ce qui est des procédures, il est bien évident que lorsque l'écart entre prévision et observation dépasse le seuil préalablement fixé, le modèle de comportement « normal » doit être considéré *ipso facto* invalidé. A partir de ce moment, des inspections visuelles doivent être plus fréquentes et une attention toute particulière devra alors être portée aux mesures ultérieures, pour voir si l'écart constaté disparaît, se maintient, ou s'amplifie, et déterminer s'il s'accompagne de l'évolution simultanée d'autres grandeurs mesurées. Dans la plupart des cas, la cause de l'écart constaté ne sera pas connue, ou plusieurs explications seront possibles. C'est pourquoi, dans la majorité des cas, la survenance d'une anomalie, qu'elle soit révélée par les mesures ou, ce qui est beaucoup plus fréquent, qu'elle soit détectée lors d'une visite de l'ouvrage, entraîne la mise en place de nouveaux instruments destinés à préciser l'étendue et la gravité du mal et à en rechercher les causes.

3.5.2. Stratégies de décision en cas d'anomalies. Critères d'alerte et d'intervention

Pour ce qui relève des décisions à prendre, il conviendrait d'encadrer le choix de cette stratégie dans une évaluation des risques (qui évoluent en sens inverse de la sécurité) et des coûts probabilistes y afférant. Mais on est bien loin de cet idéal, plus peut-être par manque de données (surtout sur le coût des incidents et des accidents) que par manque de méthodologies d'analyse.

Dans ces conditions, les décisions à prendre restent encore largement liées au bon sens et à l'intuition technique des responsables. Il n'en est pas moins vrai qu'il convient de définir au préalable les mesures à prendre dans une échelle croissante de danger. Ces mesures doivent être les mêmes quel que soit le degré d'automatisation auquel est arrivé le système d'auscultation. Il faut mettre en évidence néanmoins, une fois de plus, qu'en général chaque barrage est un cas très particulier de par ses caractéristiques, ses qualités et ses défauts, sa situation, etc. ; et bien qu'on puisse arriver à des normes d'orientation, comme celles données au chapitre 1 ci-dessus, ou même à des règles obligatoires comme il y en a dans de nombreux pays, les cas sont relativement fréquents où la surveillance doit, dans un de ses domaines, être plus importante ou simplement différente des normes générales. D'ailleurs, s'il n'en était pas ainsi, c'est que les normes seraient excessives et par conséquent elles représenteraient une dépense inutile dans certains des très nombreux aspects de l'auscultation d'un grand nombre de barrages. De même, une autre remarque importante est que certains barrages, à cause de défauts ou de symptômes de détérioration déjà connus, doivent être surveillés de façon plus continue et plus intensive.

Avant de définir des critères d'alerte et d'intervention, il faut remarquer que ces dernières peuvent être motivées par des circonstances tout à fait différentes :

a) comportement anormal devant des sollicitations normales (prévues) ;

b) sollicitations non prévues (anormales) qui menacent de se présenter ou qui se sont déjà présentées (des tremblements de terre de degré supérieur à ceux qui ont été envisagés dans la zone, des effets de sabotage, des pluies pouvant produire des crues supérieures à celles du projet, etc.).

Dans le premier cas, après avoir éliminé les « fausses alertes : dues au mauvais fonctionnement d'un appareil ou à une erreur humaine, on peut classer les détériorations en trois types :

Type a1 : Celles qui progressent lentement avec le temps, mais qui pourront exiger une intervention à terme (par exemple de légères érosions sans cavitation sur le déversoir d'un barrage de faible hauteur).

Regarding procedures, it is obvious that when the difference between forecast and observation exceeds the preestablished threshold, the “normal” performance models should be automatically considered invalid. From this moment, visual inspection must be more careful and particular attention will have to be paid to the subsequent measurements, to see if the recorded deviation disappears, whether it remains constant, or whether it increases, and to see whether it is accompanied by the simultaneous evolution of other measured quantities; lacking – as it will often be – an immediate explanation of the anomalies, as a rule new instrumentation will be needed, in order to detect the extent and the importance of the anomaly and to find out its causes.

3.5.2. Strategic decisions in Abnormal Performance. Warning and Intervention Criteria

In principle, it should be possible to see the choice of strategy within a framework of risk evaluation, since the latter develop inversely to safety, and of the probabilistic costs concerned regarding the decisions to be taken. But that is a long way off, perhaps more for lack of data (especially on the cost of incidents and of accidents) than for lack of analysis methodologies.

Under the circumstances, the decisions to be taken are largely a matter of common sense and of the technical intuition and judgment of those responsible. It is equally true that the steps to be taken in an increasingly dangerous situation should be decided on in advance. The decisions must be the same, independent of the level of automation reached in the monitoring system. However, it must be pointed out once again that, in general, each dam is a very particular case in the function of its characteristics, its qualities and defects, its position, etc. Although orientational rules may be applied, as has been done in chapter 1 of this document, or even obligatory rules which exist in many countries, the cases in which vigilance in some of its aspects must be better than or simply different from the general rules are relatively frequent. If this were not the case, the rules would be excessive and result in use less expense in some of the many aspects of monitoring of a great number of dams. Another important point is that some dams, owing to a defect or known deterioration, are more intensively and more continuously monitored.

Also, before embarking upon the definition of warning and action criteria, it would be fitting to point out that the warnings and actions may be motivated by quite different circumstances :

a) Abnormal behaviour in view of normal factors (foreseen);

b) Unforeseen factor (abnormal) which threaten to appear or which have appeared (earthquakes of greater intensity than those considered in that zone, effects of sabotage, rainfall which it is believed will produce floods greater than those of design, etc.).

Under the first case *a)*, after eliminating “false alarms” produced by malfunction of the apparatus or by human error, deteriorations can generally be classified under three types :

Type a1 : Those that, with time, progress slowly although they could finally demand an action (e.g. slight, non-cavitating erosions in the spillway of a dam with low height).

Type a2 : Celles qui, à cause de la rapidité avec laquelle elles peuvent progresser dans une circonstance donnée exigent une réparation plus ou moins rapide, mais qui n'impliquent pas une situation de gravité immédiate pour les tiers (ni risques économiques importants, ni, à plus forte raison, risques pour les personnes ; par exemple, de légères érosions par cavitation sur le déversoir d'un barrage de grande hauteur, qui pourraient représenter un danger si elles n'étaient pas réparées avant la prochaine saison des crues où pourraient se produire des déversements).

Type a3 : Celles qui, par leur vitesse de progression et par le risque qu'elles représentent pour les biens ou pour les personnes, peuvent être considérées comme graves (exemple, des fuites croissantes dans un barrage en terre avec entraînement des matériaux).

Mais au niveau actuel d'automatisation et vis-à-vis des critères d'alerte, les détériorations de ces trois types ont quelque chose en commun : elles doivent être communiquées à la personne ou à l'équipe chargée de l'entretien et de la sécurité du barrage dès qu'elles sont détectées ; en effet, on ne peut se fier qu'à l'homme, à ses connaissances, à son expérience, et à son intuition, pour décider s'il y a besoin d'une intervention et si elle est urgente. Il est important de faire remarquer que, de l'avis de tous les experts consultés, cette situation se perpétuera dans l'avenir, bien que le degré d'automatisation soit destiné à augmenter et leurs systèmes à se perfectionner.

En résumé, dès qu'une anomalie est découverte (il vaudrait mieux dire un événement non souhaitable, car il pourrait être qualifié de normal étant donné la fréquence avec laquelle cela arrive) elle doit être portée à la connaissance de la personne ou de l'équipe responsable, que ce soit à travers l'ouvrier qui l'a découverte ou à travers le système automatisé qui l'a détectée.

En ce qui concerne les critères d'intervention, les trois types de détérioration ont encore ceci en commun que, si la cause de l'anomalie et ses conséquences possibles ne sont pas parfaitement connues, il faut immédiatement entreprendre des études pour les déterminer. En effet, c'est seulement quand on connaît les effets possibles (et pour cela il faut normalement en connaître la ou les causes) que l'on peut savoir dans lequel des trois types classer l'anomalie, et par conséquent décider des critères d'alerte et d'intervention les mieux adaptés, que nous décrivons ci-dessous, en adoptant le même classement que pour les anomalies auxquelles ils se rapportent :

Type a1 : Dans ce premier cas, l'alerte ne doit pas dépasser la personne ou l'équipe responsable de la surveillance, de l'entretien et de l'exploitation du barrage. On peut attendre une occasion favorable du point de vue économique pour effectuer la réparation. Selon le cas, la réparation sera définitive ou devra être refaite périodiquement, suivant les moyens et les matériaux disponibles.

Type a2 : Dans ce deuxième cas, l'alerte ne doit pas dépasser non plus l'équipe responsable.

Par contre, on ne peut déjà plus prendre en compte le seul point de vue économique pour choisir le moment de la réparation, car celle-ci est nécessaire et elle doit être réalisée avant que les circonstances qui l'ont provoquée ne se reproduisent. Pour les barrages, le cycle de retour de telles circonstances est en général annuel, mais cette règle a toujours des exceptions, dues tant aux conditions climatiques qu'au régime d'exploitation.

Type a2 : Those that, owing to the speed with which they could progress under a given circumstance, require a more or less rapid repair but do not entail an immediate, serious situation and certainly no risk to inhabitants (e.g. slight erosions by cavitation in the spillway of a high dam, which could present danger if left unrepaired before the next rainy season, in which the necessity to spill could arise).

Type a3 : The deteriorations which, owing to the speed of progression and to the economic and human hazard which they represent, can be considered as serious (e.g. growing – up filtrations with silt entrainment in an earth dam).

These three types of deterioration at the present level of automation, with regard to warning criteria, have one thing in common : they should be reported to the person or team responsible for the conservation and safety of the dam the moment they are detected, because only the following human criteria – knowledge, experience, intuition – can be relied upon to decide on the necessity and urgency of an action and its characteristics. It is worth pointing out that from the opinions of all experts consulted, it has been deduced that it will continue to be this way even if the levels of automation increase and their systems are perfected.

Summarizing : as soon as something abnormal is discovered (it would be better to say something undesirable, as it could be considered normal by the frequency with which it occurs), the person or team responsible should know about it through the operator who discovered it or through the automated system which detected it.

With regard to the action criteria, there also exists another factor in common with the three types of anomaly ; that is, if the causes and possible consequences are not known exactly, the investigations to determine them should commence immediately, since only after their possible effects are known, for which it is usually necessary to know its cause or causes, can the deterioration be classified into one of the three groups and consequently, the most applicable warning and action criteria be decided upon. These criteria are described in the following and bear the same numbers as the anomaly types to which they apply :

Type a1 : In these cases, the warning should be communicated only to the person or team responsible for the vigilance, conservation, and operation of the dam.

The action criteria is normally to await a favorable occasion from an economic point of view for correction of the deterioration. In some cases, this correction should also be repeated periodically and, in others, it may be carried out once and for all according to its characteristics and the means and materials which are available.

Type a2 : Likewise, in this case the warning should be made known only to the person or team responsible.

It is not presently possible for the action criteria to take into consideration the economic point of view in order to choose the moment of repair. It is necessary to carry out the repair before the circumstances which produced the deterioration are repeated. For dams in general, the possibility that some circumstances are repeated is subjected to an annual period, but this rule always has exceptions due both to climatologic conditions and to the operating procedure.

Type a3 : Dans ce troisième cas, le critère d'alerte pose un problème important : faut-il ou non, et en quel moment, avertir les autorités et la population menacée ?

Dans cette question, c'est l'importance que prend le domaine psychologique qui pose les difficultés majeures. Elles sont si nombreuses qu'elles méritent, croyons-nous, quelques commentaires. En temps de guerre, par exemple, la population civile d'une ville se sent plus en sûreté (ou est moins inquiète) si elle sait qu'avant l'arrivée des avions ennemis, elle sera avertie au moyen d'un système d'alerte lui permettant de se réfugier dans des abris; néanmoins, en temps de paix, cette même population qui habite en aval d'un barrage important, se sent plus inquiète – contre toute logique – si on lui fait savoir qu'en cas de rupture imminente du barrage elle sera avertie au moyen d'une alerte et avec un temps suffisant pour qu'elle puisse se mettre à l'abri.

Néanmoins, les barrages existent, avec le très petit risque qu'ils représentent, et une des méthodes pour diminuer, le cas échéant, les conséquences d'une rupture est de parvenir à une conduite adéquate de la population exposée, ainsi que de certaines personnes qui ne sont pas exposées, mais qui doivent agir. La vie des personnes – comme celle de tout être vivant – a toujours été et sera toujours menacée par des risques divers et nombreux. Le développement technologique réduit ou annule beaucoup de ces risques, mais il en augmente d'autres, et quelquefois, il en crée de nouveaux. Néanmoins, le résultat global pour l'humanité est très positif – la preuve en est l'augmentation de la durée moyenne de vie pendant le dernier siècle. Le problème est donc par beaucoup d'aspects un problème d'éducation de milliers, quelquefois même de millions de personnes; partant, tous les organismes locaux, nationaux et, dans certains cas, internationaux qui y sont intéressés – et pas seulement la C.I.G.B. – doivent contribuer à sa solution.

Cette éducation doit couvrir deux aspects principaux : d'une part, la conviction de la valeur positive, déjà mentionnée, du développement technologique, d'autre part, la conviction que les risques nouveaux – qui, pour avoir été créés par l'homme, sont mieux connus que les risques naturels et plus faciles à évaluer en termes économiques et de probabilité – baissent notamment si les personnes exposées et celles, qui bien que ne l'étant pas, doivent agir, ont un comportement bien adapté.

De tout cela, on déduit qu'en cas de rupture imminente probable, l'alerte doit être donnée à la population civile, et non pas de façon automatique, mais à la suite d'une décision humaine, qui peut toujours être prise à temps. Très peu de catastrophes de barrages – si tant est qu'il y en ait eu une seule – sont survenues sans que l'équipe responsable n'ait eu connaissance, ou n'ait pu avoir connaissance de ce que la catastrophe pouvait se produire.

Si dans quelques cas l'alerte a été donnée en retard ou même n'a pas été donnée, c'est parce qu'elle n'avait pas été considérée comme une chose normale – c'est-à-dire, prévue, et parce que n'avaient pas été clairement définis les procédures et les moyens à utiliser pour alerter rapidement la population intéressée, et parce que les règles de conduite n'avaient pas été portées à la connaissance de la population.

Il est probable (et c'est souhaitable) que dans quelques années existeront des exemples plus nombreux dans lesquels une telle organisation – décision d'alerte, moyens d'alerte, règles de conduite – sera opérationnelle*.

Devant une détérioration appartenant à ce troisième type tout ce qui est possible doit être fait pour éviter la catastrophe, ou pour la retarder et en diminuer les effets.

* Cette organisation existe notamment en France, en Suisse, etc.

Type a3 : In this case, the warning criteria involves the important decision as to whether, and at what moment, the possibly affected population downstream should be warned, as well as the Authorities.

The psychological aspect of this question, however, creates the greatest difficulty; so great it is worthwhile to cite an example : "In time of war, the civil population of a city feels more tranquil (or less disturbed) knowing that before enemy planes arrive, the people will be warned by some alarm system so that they can take cover under the bomb shelters; nevertheless, in peacetime, these same people who happen to live downstream of an important reservoir feel much more disturbed – against all logic – if they are told that an alarm will warn them with sufficient time so that they can save themselves from the possible imminent rupture of the dam".

Nevertheless, dams "are there", also the small hazard they represent. One of the methods to minimize this hazard is by achieving suitable behaviour of the people exposed to it at the opportune moment; and, of some people who are not exposed, but must also act.

Human life – like any other form of life – has always been, is, and always will be threatened by various and numerous hazards. Technological development reduces or cancels out many of these hazards, increases others and, in a certain way, creates new hazards. However, this balance for mankind is very positive – proof of this is the increase in the average life span during the last century. Therefore, the problem is, in many aspects, a question of education, the education of thousands or even, in some cases, of millions of people. Its solution, therefore, should be contributed to by local, national and sometimes international organizations, not only ICOLD.

This education should cover two main aspects : the certainty of the positive value of the balance mentioned above and the fact that the new hazards – which, because they have been created by man, are better known than the natural ones and are even easier to evaluate in economic and probabilistic terms – notably decrease with the suitable behaviour of all the people exposed to such hazards and of many others who, although not exposed, must act.

Of the people exposed in these cases, it is deduced that our criterion is that the alarm shall, effectively, reach the civil population, although not in an automatic way but as a consequence of a human decision which can be always taken in due time. There have been very few, if any, dam catastrophes which have occurred without the previous knowledge by the responsible team, of their possible occurrence.

If in some cases the alarm has been given late, or has not been given, probably due to the fact that it was not considered normal to give the alarm; that is, it was not planned because the procedures and the means to be used for its rapid communication to the affected population were not clearly defined, nor did there exist standards or rules of behaviour to be followed.

It is probable, and so it should be, that in a few years some more specific cases shall exist in which all this organization – alarm decision, means of communicating it, standards of behaviour, etc. – will be available to operate at the precise moment*.

The action criterion established prior to the development of a deterioration corresponding to this group, "type a3" is to do everything possible to avoid the catastrophe; to delay it; and to decrease its possible effects.

* This organization exists, e.g., in France, in Switzerland, etc.

Cette action présente deux faces : l'une est purement hydraulique; elle consiste à abaisser le plus vite possible le niveau de la retenue du barrage en danger en ouvrant les vannes et en réduisant les apports avec le concours des retenues situées en amont, et à pallier les effets d'une rupture partielle ou totale au moyen des barrages situés en aval (« le bassin... comme unité hydraulique », un des sujets à proposer pour un prochain congrès); l'autre est une action de construction par apport de matériaux ou par d'autres moyens pour maintenir la stabilité du barrage ou retarder sa destruction.

Ce qui est dit des détériorations du type 3 s'applique aussi dans le cas b) de menace d'événements qui risquent de provoquer la rupture du barrage. Mais, de plus, on pourrait envisager la possibilité de donner l'alerte à la population civile, de façon automatique. Nous pensons que personne, pour le moment, n'a fait de telles installations, mais certains experts et organismes envisagent cette possibilité, même au risque de donner une fausse alerte, ce qui, d'après eux, serait moins grave que si l'alerte, pour n'être pas automatique, arrivait trop tard.

A notre avis, avant d'en arriver à une alarme automatique, il est indispensable de préparer et d'éduquer la population car sans cela une fausse alerte peut produire un grand nombre de victimes si la population est relativement importante. A cet égard, il faut tenir compte de ce que la probabilité d'une fausse alerte émise par un système automatique est beaucoup plus importante que celle de la rupture d'un barrage bien ausculté et bien entretenu.

Le comportement dans ce cas b) sera donc le même que pour les détériorations du type 3 dans le cas a) si on peut escompter avoir le temps de faire quelque chose d'utile.

Il faut aussi tenir compte de la position des Autorités qui peuvent avoir d'autres vues sur la nécessité de l'alerte et sur les moyens de la donner à la population.

Cette influence des Autorités se fera sentir bien davantage s'il s'agit d'un barrage qui peut mettre en péril la population d'une ville située dans un pays voisin. Il est curieux de constater que ce sujet n'a encore suscité aucun précédent ni aucun accord international. Cela confirme le faible risque que les grands barrages représentent pour l'homme malgré les grands services qu'ils lui rendent.

Pour terminer, on peut faire le commentaire suivant : il peut paraître logique, à première vue, de distinguer les cas de détérioration qu'on ne peut corriger qu'en perturbant l'exploitation du réservoir, de ceux dont la correction n'exige pas une telle perturbation; mais en réalité cette différence, malgré sa répercussion économique qui peut être importante, ne modifie pas le classement des types de détériorations envisagé ci-dessus pour ce qui concerne les critères d'alerte et d'intervention.

En effet, la perturbation la plus courante de l'exploitation consiste en une limitation du niveau du réservoir, mais elle peut intervenir aussi bien pour éviter la rupture d'un barrage que pour, simplement, améliorer le revêtement du parement en amont, légèrement attaqué par l'eau agressive.

These actions present two aspects, one purely hydraulic; that is to lower as fast as possible the reservoir level for the endangered dam, opening the spilling gates and reducing the inflows with the help of upstream dams, and diminish the effects of the total or partial rupture, by means collaborating with the downstream dam (the basin as a hydraulic unit should be one of the subjects to be prepared for the next congress ?). The other is constructive : furnishing of materials or other means to maintain the stability of the dam or to delay its destruction.

Under the second case *b*), the threat of unforeseen load, which very probably would cause the dam to rupture, all which is indicated for deteriorations included in "type a3" is applicable. However, the possibility of the alarm reaching to civil population in an automatic way should also be considered. We do not believe that anybody, at this time, has made the installations necessary for that, although there are now experts and organizations which are considering that possibility, even at the risk of giving a false alarm which is always less serious, they say, than alarm which arrives late because it is not automatic.

From our point of view, before resorting to an automatic alarm, it is indispensable that the population for which it is intended be conditioned, and prepared. Otherwise, the added risk may be present that a false alarm could produce a great number of casualties in a relatively large population. In that respect, it will have to be taken into account that the probability of a false alarm, set off by an automatic system, is far greater than the probability of the rupture of a dam well monitored and maintained.

The criterion for action in this case "b", if there really is time to do something, will be the same as for the deteriorations of Type 3 in case "a".

As regards alarms, the influence of the "Authorities" must also be taken into account as they may have different criteria with respect to their necessity and means of communication to the population.

This influence will be significantly stronger when the reservoir is located in a country where the population of a city situated in a neighboring country could be endangered. It is rather strange that on this specific matter it seems that there are still no standards or agreements of an international nature. This indicates just how small is the danger, which the large reservoirs represent to man, as compared to the great services they contribute to mankind.

Before finishing, it would seem appropriate to make the following comment. It may seem logical, at first sight, to consider separately the deterioration cases for correction, for which it is necessary to alter the operation of the dam, from those cases for which it is not. However, this fact, in spite of the possibly important economic repercussions, does not modify the classification of the deterioration types mentioned above in relation with the alarm and control criteria which correspond to them.

In effect, the most common alteration of the operation is the limitation of the reservoir level and that can be done both to avoid rupture of a dam and to improve the lining of the surface upstream which has been slightly attacked by aggressive water.

4. SCHÉMAS D'AUTOMATISATION

4.1. QUELQUES EXEMPLES

4.1.1. Introduction

Dans ce chapitre sont présentés quelques exemples d'application de l'automatisation au contrôle de la sécurité des barrages, dans cinq pays représentés dans le Groupe de Travail. Les tâches qui ont été automatisées dans ces pays ne sont pas identiques, mais il y a des tendances communes qui peuvent être groupées comme suit :

i) développement de l'automatisation du traitement des données, ne comprenant pas systématiquement leur recueil (expériences française, portugaise et américaine);

ii) réalisation d'un système local (au barrage) qui comprend le recueil de certaines données (pour une grande partie des observations), leur traitement et leur archivage (expérience espagnole);

iii) projet, en grande partie déjà réalisé, d'un système qui comprend le recueil des données commandé par un miniordinateur avec interaction « on-line » et en temps réel, le traitement et l'archivage des données avec une analyse rapide de l'évolution des tendances qui mettent en action différentes stratégies; ce système comprend aussi une possibilité d'analyse des données plus approfondie semblable aux systèmes décrits en i) (expérience italienne).

Dans les paragraphes suivants, on décrit ces différentes expériences qui sont exposées par ordre alphabétique du nom d'origine des différents pays (España, France, Italia, Portugal, United States of America).

4.1.2. Expérience espagnole

Une grande partie des observations a été automatisée dans un barrage voûte de 134 m de hauteur en Espagne. Les appareils pour lesquels les mesures sont faites automatiquement sont les extensomètres, les thermocouples, les dilatomètres, les cellules dynamométriques (dans les ancrages des rives) et une base de mesure de pendule (fig. 1).

Un sélecteur (« scanner ») permet de choisir l'appareil à interroger. La mesure se fait par un voltmètre digital mesurant les variations de résistance des appareils.

L'introduction des données (mesures) dans un ordinateur placé dans le barrage se fait automatiquement.

Il y a aussi d'autres types d'appareils dont les mesures sont faites manuellement. Leur introduction dans l'ordinateur se fait par lecteur de bande perforée ou par télétype.

L'ordinateur contient les programmes et les constantes des appareils pour traiter les données.

4. SCHEMES OF AUTOMATION

4.1. SOME EXAMPLES

4.1.1. Introduction

In this chapter, some examples are presented of applications developed in the countries represented by the Task Group Members, in the field of automation for the safety control of dams. The tasks which have been automated differ from one experience to another but it can be said that there are some principal trends which can be grouped as follows :

i) development of the automation of data processing without automation, at least on a systematic way, of the data acquisition (French, Portuguese and American experiences);

ii) realization of a local scheme (at the dam) that includes automatic data acquisition (for a large number of instruments), processing and also storage of the data (Spanish experience);

iii) design of a system that includes data acquisition commanded by a microcomputer interacting on-line in real time, processing and storage of data with quick analysis of evolutionary trends acting different strategies of intervention; this system includes also the possibility of in-depth off-line analysis similar to the previous systems (Italian experience).

In the following paragraphs, these experiences are presented in alphabetic order of the different countries original name (España, France, Italia, Portugal, United States of America).

4.1.2. Spanish experience

A large number of observations have been automated at an arch dam 134 m high, in Spain. The instruments for which data are automatically obtained are strain meters, thermocouples, joint meters, load cells (on the anchorage on the abutments) and one coordinometer base of plumb-line (Fig. 1).

A selector ("scanner") makes it possible to choose the instruments to be measured with a digital voltmeter (that measures the resistance variations of these instruments).

The introduction of data in the computer which is at the dam, is done, for these instruments, automatically.

There are also other types of instruments in which the measurements are made manually. In these cases the introduction of data to the computer is done either by quick reader of punch tape or by a teletype.

In the computer there are routines, constants of the instruments etc., needed for processing the data.

On a aussi la possibilité de stocker les données sur bandes magnétiques, en utilisant le télétype. Si on veut faire subir un traitement spécial à un groupe de données, on peut les faire passer des bandes sur l'ordinateur. On peut sortir les données élaborées sur graphique ou sur imprimés.

4.1.3. Expérience française

Remarques préliminaires

On remarque, dans l'organisation de la surveillance à Electricité de France (E.D.F.) les aspects suivants :

i) La responsabilité des ouvrages reste totalement entre les mains de leurs exploitants, bien que le traitement des données soit automatisé et centralisé.

ii) Le contrôle humain d'agents expérimentés est conservé aux différents stades des visites d'ouvrages, de l'exécution de lectures aux appareils de mesures, de leur contrôle immédiat, de la préparation du traitement et l'interprétation des résultats élaborés.

iii) L'élément fondamental de la surveillance est l'utilisation de « modèles de comportement réversible » du barrage face aux variations de cote de retenue (effet « hydrostatique ») et aux écarts thermiques (effet assimilé à un effet saisonnier, donc ne dépendant que de la date dans le courant de l'année). Ces modèles sont, pour chaque grandeur contrôlée, entièrement calés par des méthodes d'ajustement statistique sur les résultats des mesures réalisées.

Leur structure, très simple, est identique pour tous les types de mesures (géométrique, mécanique, hydraulique), ce qui autorise une utilisation très systématique sur tous les types d'ouvrages et une automatisation très poussée des programmes de traitement numérique.

iv) L'ensemble du traitement a été conçu pour faciliter aux utilisateurs l'entrée des données et la sortie des résultats ; l'enchaînement des différents programmes utilisés pour le traitement est automatique.

Organisation (voir fig. 2)

i) Les mesures périodiques sont effectuées, dans leur quasi-totalité manuellement par le personnel local chargé de la surveillance immédiate. Seules sont faites, par des spécialistes, les mesures de microgéodésie.

ii) Toutes les mesures sont centralisées, par l'intermédiaire de la Poste ou du téléphone, dans les Centres Régionaux d'Auscultations (2 ingénieurs et quelques agents techniques pour 40 barrages environ) localisés géographiquement à proximité des ouvrages et qui assurent :

- la réception des imprimés établis par les agents locaux et le contrôle sommaire de la vraisemblance des mesures,
- la perforation des lectures sur bande TELEX, sous un format standardisé pour chaque barrage, et sa transmission au Centre de Calcul (1 Centre unique pour 150 ouvrages).

iii) Au Centre de Calcul, un lecteur sur bande introduit les données dans un ordinateur, qui assure automatiquement :

- le calcul, à partir des lectures aux appareils, des grandeurs interprétables (mouvements amont-aval, contraction, débit de fuite, etc.),

It is also possible to store the data on magnetic tapes, by using the teletype. When it is necessary to do any special processing with certain data groups they can pass from the tape to the computer. After this it is possible to present the processed data graphically, or in lists.

4.1.3. French experience

Preliminary notes

Concerning the surveillance organization at "Electricité de France" (EDF) it can be noted :

i) the responsibility at the installations rests entirely on their owners although the observation data processing is automated and centralized.

ii) Human control by experienced agents is maintained at the different stages of visits to the dam, of measurement readings by means of measuring apparatus, immediate control of these readings, preparation of processing and interpretation of the obtained results.

iii) The fundamental element of the control is the use of "models of reversible behaviour" of the dam in function of the reservoir level (hydrostatic effect) and of the thermal variations (an effect that is assimilated to a seasonal effect and, therefore, depends only on the date in the course of the year). For each magnitude observed, these models are entirely calibrated by means of statistical adjustment methods, in accordance with the results of the readings.

The structure of the models, which is very simple, is the same for every type of magnitude (geometric, mechanic, hydraulic). This makes possible a very systematic use on any structural type and a very thorough automation of the numerical treatment programs.

Organization (see fig. 2)

i) Nearly all periodic readings are carried out manually by local personnel in charge of direct control. Only Microgeodetic readings are the only readings made by specialists.

ii) All measurements are centralized, either by postal services or telephone, in the Regional Observation Center (2 engineers and some assistant engineers for about 40 dams) located in the vicinity of the dams, which are responsible for :

- the reception of the forms written by the local agents and the summary control of the reliability of the readings;
- punching of the readings into TELEX tape, in a standardized format, for each dam and transmission to the processing Center (one Center for 150 dams).

iii) At Processing Centre a tape reader introduces the data to a computer, which automatically does :

- the calculation, from the readings taken by the apparatus, of the interpretable magnitudes (upstream-downstream movements, shrinkage, seepage, etc.);

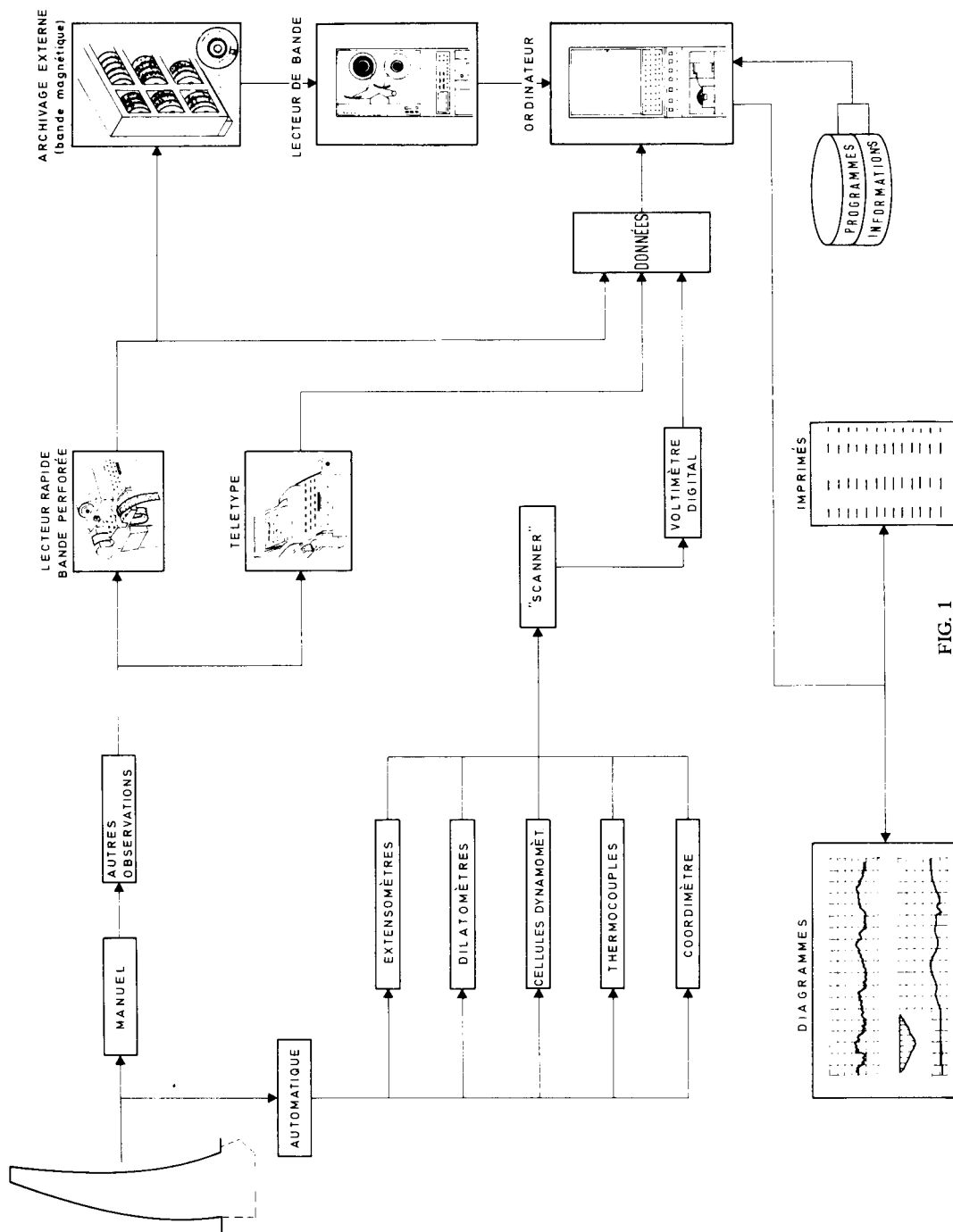


FIG. 1

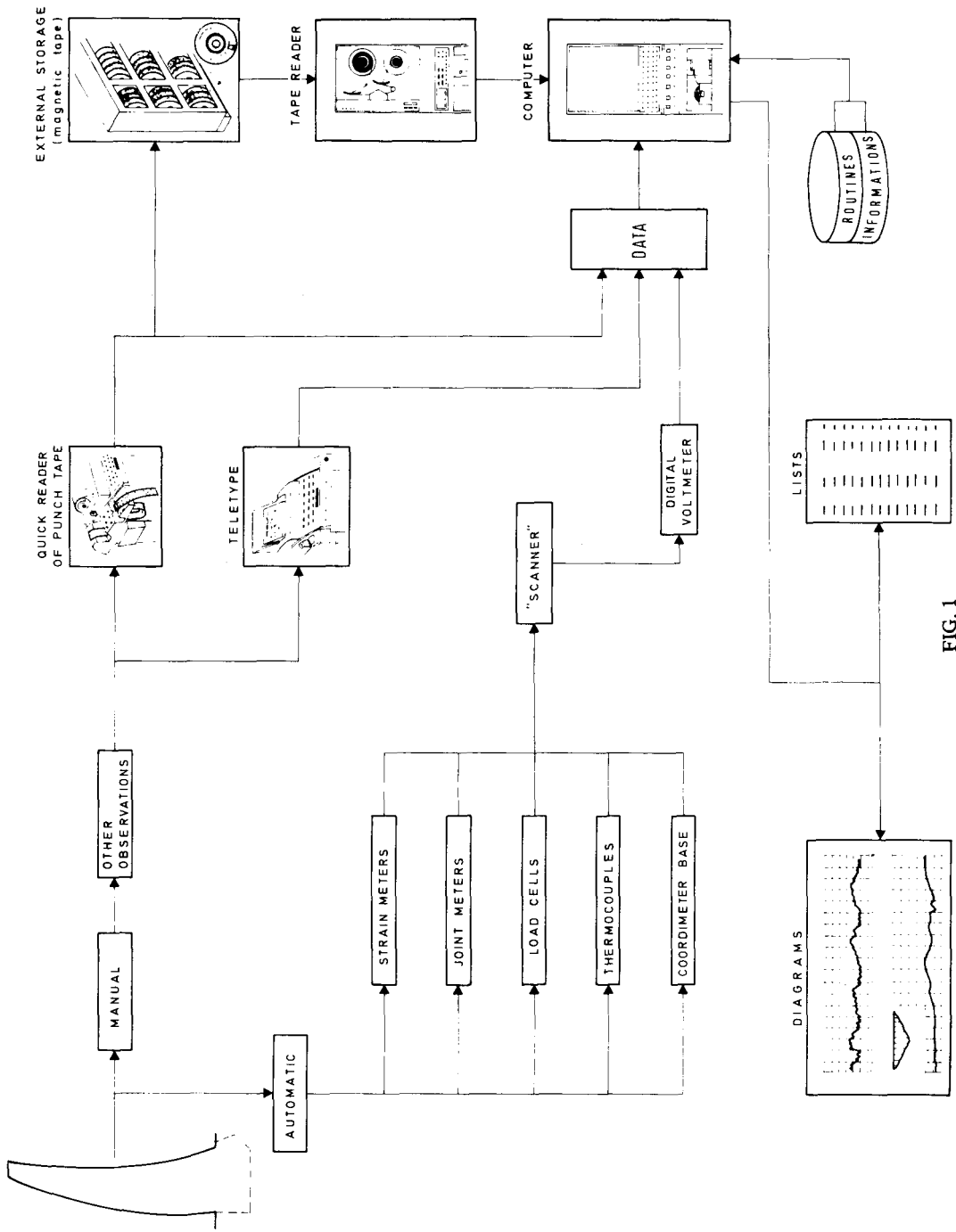


FIG. 1

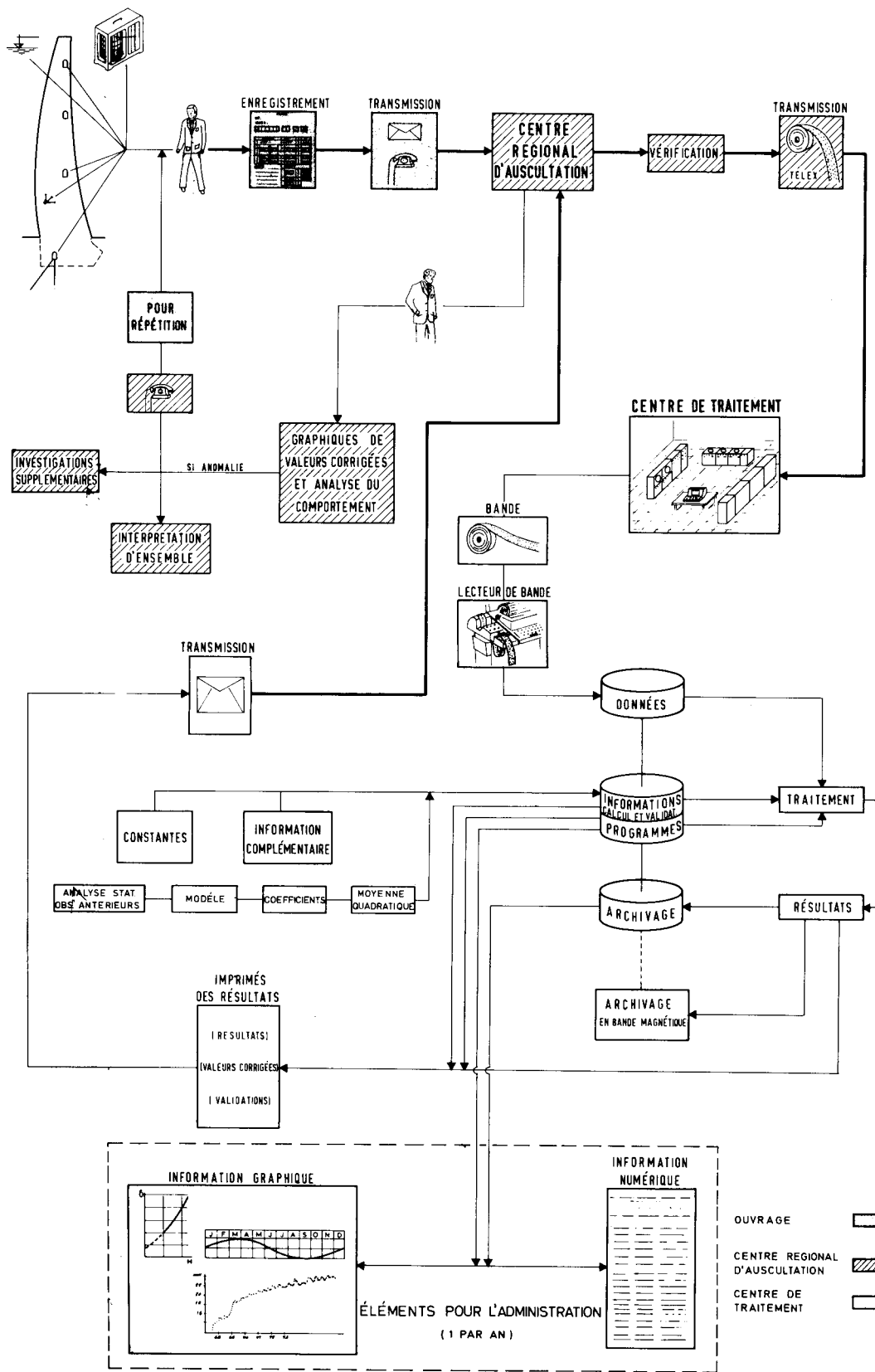


FIG. 2

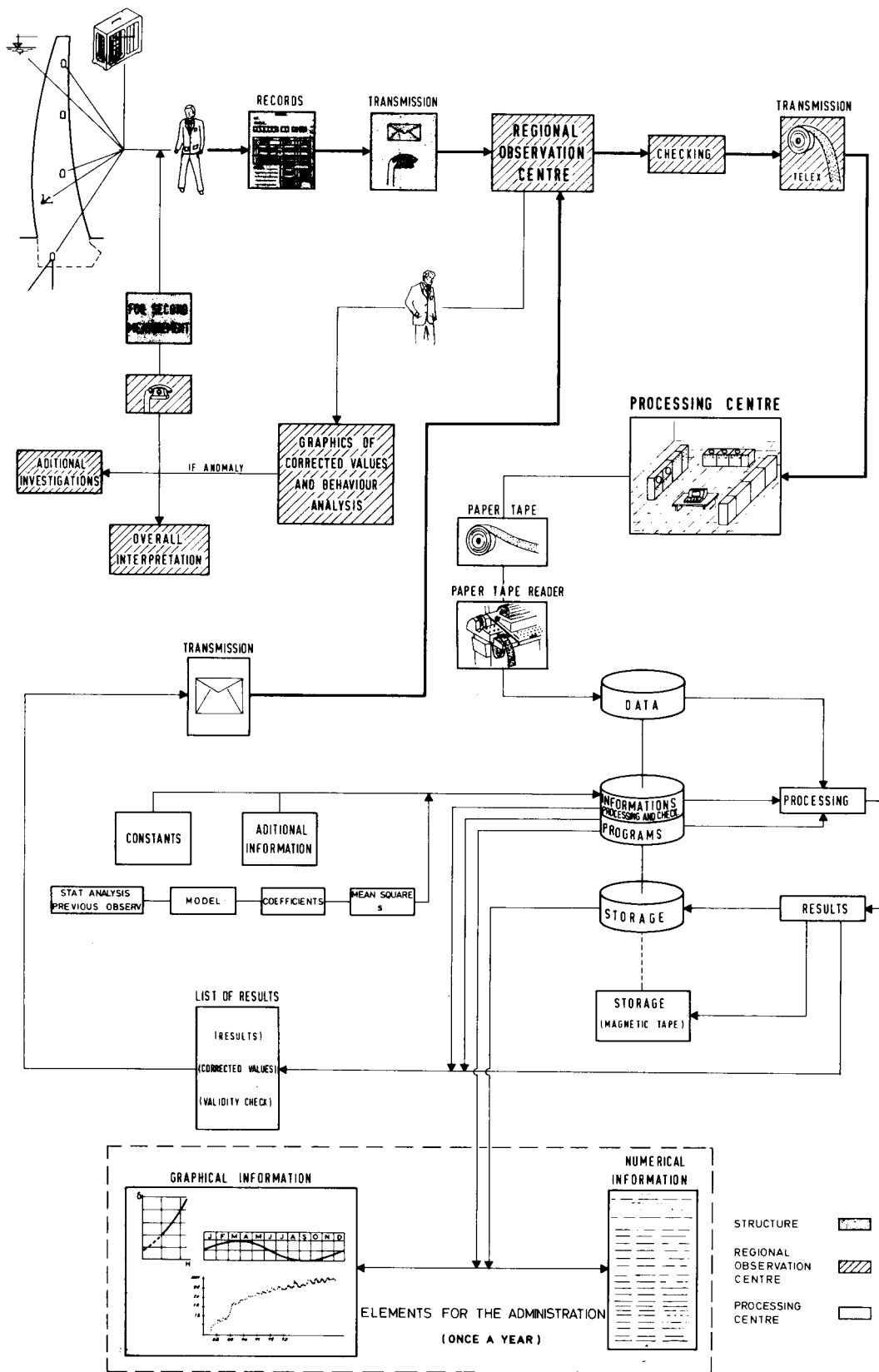


FIG. 2

- l'archivage de ces résultats sur fichiers, disques ou bandes magnétiques,
- l'application des corrections pour ramener les résultats à conditions identiques de cote de retenue (retenue normale) et d'état thermique (saison moyenne) en utilisant les paramètres des modèles des effets hydrostatiques et saisonniers mis en mémoire à la fin d'une opération particulière d'analyse statistique sur certains résultats antérieurs,
- l'édition d'imprimés de résultats portant les valeurs de grandeurs mesurées, leurs valeurs corrigées et l'indication éventuelle de dépassement de seuils d'écarts préalablement mis en mémoire pour chacun des phénomènes.

iv) L'imprimé de résultats est retourné le jour même du traitement par la Poste aux Centres Régionaux d'Auscultation qui :

- contrôlent les résultats en tenant à jour, manuellement, des graphiques de valeurs corrigées en fonction du temps (surveillance des dérives et dispersion à conditions constantes de cote de retenue et saison reconstituées).
- en cas « d'anomalies » sur les graphiques de surveillance, et suivant les cas, font répéter la mesure, informent les exploitants, font réaliser des investigations supplémentaires, interprètent les résultats sur l'ensemble de l'ouvrage.

v) Les modèles statistiques servant aux corrections des résultats sont élaborés, à la demande des Centres Régionaux d'Auscultation, chaque fois qu'ils le jugent utile (échantillon de mesures suffisamment représentatif), à l'aide des programmes existants au Centre de Calcul et des données archivées dans les fichiers. Après le calcul, les paramètres des modèles sont archivés pour correction automatique des mesures ultérieures au fur et à mesure de leur prise en compte.

vi) Des programmes de restitutions graphiques et numériques élaborent, à la demande, tous les documents nécessaires à la constitution des rapports de synthèse, notamment de ceux que, en France, tout propriétaire de barrages est tenu de fournir à l'Administration (un rapport détaillé tous les deux ans, un rapport sommaire intermédiaire).

4.1.4. Expérience italienne

L'E.N.E.L. (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica) en coopération avec l'ISMES (Istituto Sperimentale Modelli e Strutture) développe, depuis quelques années déjà, un système pour l'automatisation « on-line » et en temps réel du contrôle de la sécurité des barrages.

Le système est composé par un « hardware » et un « software » conçus de façon à remplir les fonctions suivantes :

i) création d'un modèle mathématique du barrage, en utilisant un « software » spécialisé pour l'établissement de fonctions de transfert entre les « inputs » dus à l'environnement et les effets structuraux ;

ii) calibrage du modèle ci-dessus, en se basant sur une courte expérience passée du comportement réel ;

iii) installations fixes adaptées à chaque cas particulier, consistant en des senseurs, des connexions, et microordinateurs avec interaction « on-line », en temps réel ;

iv) « software » pour élaboration « on-line » : calcul des réponses prévues des appareils, évaluation des écarts entre ces réponses et les mesures et détection des écarts excédant des limites prédéterminées ;

- the filing of these results on disks or magnetic tapes;
- the application of corrections to bring the results back to identical conditions of reservoir water level (normal water level) and thermal state (average season) using the parameters of the models for the hydrostatic and seasonal effects stored at the end of a particular statistic analysis carried out on some previous results;
- the output of lists with the results, stating the values of measured magnitudes, their corrected values and signaling the possible exceeding of limit values previously stored for each phenomenon.

iv) The report form with the results is posted the very same day of the treatment to the Regional Observation Centers, which will :

- examine the results and manually update the graphs with the corrected values in function of time (control of the evolution trends and dispersion under reference conditions of reservoir water level and season);
- in the case of "anomalies" appearing on the control graphs and, depending on the cases, require the measurements to be repeated; inform the owners; require extra examinations to be carried out; interpret the overall observation results.

v) Statistical models for the correction of results are prepared at the request of the Regional Observation Centres whenever deemed necessary by these Centres (sufficiently representative sample of measurements) with the aid of programs available at the Processing Centre and data kept in the files. After the calculation, the parameters of the model are filed for automatic correction of subsequent measurements as they are taken into consideration.

vi) Graphic and numerical restitution programs prepare, upon request, all documents necessary for the establishment of synthesis reports, as for instance those which in France, all owners of dams must send the Administration once a year.

4.1.4. Italian experience

ENEL (Italian National Power Agency) has been developing for some years, in co-operation with ISMES (Experimental Institute for Models and Structures, in Bergamo, Italy) a system toward automatic, on-line, real-time concrete dam safety surveillance.

The system is composed of "hardware" and "software" conceived so as to fulfill the following functions :

i) creation of a mathematical model of the dam, using specialized software to set up transfer functions between environmental inputs and structural effects;

ii) calibration of above-said model drawing on a limited past experience of actual behaviour;

iii) custom-tailored fixed installations, consisting of sensors, connectors and micro-computers interacting on-line, in real time;

iv) software for on-line processing : synthesis of expected sensor response, discrepancy evaluation and detection of threshold-exceeding discrepancies;

- v) plan d'alerte technique dans le cas d'écarts excédant ces limites;
- vi) « package » pour l'analyse rapide des tendances d'évolution des phénomènes qui sortent du « comportement normal »; différentes stratégies d'intervention;
- vii) structuration d'une base de données et archivage de toutes les données pour référence et analyse futures.
- viii) possibilité de réaliser des analyses approfondies pour interpréter un comportement anormal.

La figure 3 présente, sous la forme d'un diagramme, le schéma de conception du système. En particulier, on peut voir qu'il consiste en deux parties : une composante « off-line » et autre « on-line ».

La composante « on-line » est en cours d'implantation dans quelques barrages; la composante « off-line », à son tour, a été utilisée pendant plusieurs années, comme procédé de vérification de la sécurité d'un grand nombre de barrages (à peu près 50).

Les activités « off-line » peuvent être effectuées sur ordinateur par un code interactif appelé MIDAS (Management of Information for Dam Safety). Le programme développé, disponible à l'ISMES, est brièvement décrit comme suit :

- archivage, actualisation et traitement de toutes les mesures effectuées dans le barrage;
- obtention automatique des graphiques « standard » et des formulaires destinés aux Autorités locales;
- analyses préliminaires des séries chronologiques de mesures (par exemple tendances graphiques, moyenne mobile, analyse de Fourier, etc.);
- prévision de déplacements et leur contrôle avec des modèles statistiques ou déterministes.

Les activités surmentionnées sont celles qui concernent l'usage routinier du système, mais le procédé permet aussi la réalisation à la demande des tâches suivantes :

- calibrage des constantes pour le modèle déterministe;
- réalisation de modèles statistiques ou hybrides utilisant des données archivées;
- détermination de la constante de diffusivité du béton.

Les sorties graphiques du système peuvent être obtenues sur :

- l'imprimante;
- le traceur de courbes;
- CRT (avec ou sans unité « hard-copy »).

Le programme peut être appelé – via un terminal – par chaque utilisateur, l'accès étant limité par des « mots de passe » appropriés, aux seules parties codifiées et aux seules données qui intéressent cet utilisateur. De cette façon, on protège le secret des données archivées et on prévient les dommages qui pourraient résulter pour elles ou pour le programme d'une utilisation incorrecte du système.

4.1.5. Expérience portugaise

Un système automatique qui commence après l'exécution des mesures, généralement faites manuellement, a été développé au Portugal. Après cette phase, on cherchera à relier ce système à l'exécution automatique d'au moins certaines mesures. Cette automatisation, dont on peut voir le schéma sur la figure 4, comprend essentiellement trois niveaux :

- le traitement des données;

- v) technical alert protocols in case of threshold-exceeding discrepancies;
- vi) package for quick analysis of evolutionary trends for events outside "normal behaviour". Different strategies of intervention;
- vii) data-base structuring and filing of all data for future reference and analysis;
- viii) in depth off-line analysis capabilities for anomalous behaviour interpretation.

Fig. 3 shows, under block-diagram form, the basic approach underlying the system conception. In particular it can be seen to consist of two parts : an "off-line" and an "on-line" component.

The "on-line" component is being gradually implemented on some dams; the "off-line" one has been routinely used, for several years, as a safety-checking procedure for a remarkable number of dams (about 50).

The "off-line" activities can be managed by the interactive computer code MIDAS (Management of Information for Dam Safety). The program developed and available at ISMES, is briefly described in the following :

- storage, up-dating and management of all measurements effected on the dam;
- automatic carrying-out of standard graphics and forms to be sent to Local Authorities;
- preliminary analysis of the chronological series of measurements (for example : graphic trends, movable average, Fourier analysis, etc.);
- displacement forecast and control with deterministic and/or statistic model.

The above-mentioned activities are those concerning the repetitious use of the system, but the procedure can also allow to carry out in a desultory way the following activities :

- calibration of constants for the deterministic model;
- carrying out of statistical or hybrid models pertaining to single memorized quantities;
- identification of the diffusivity constant of concrete. The system graphical outputs can be obtained on :
 - line printer
 - plotter
 - CRT (with or without hard-copy unit).

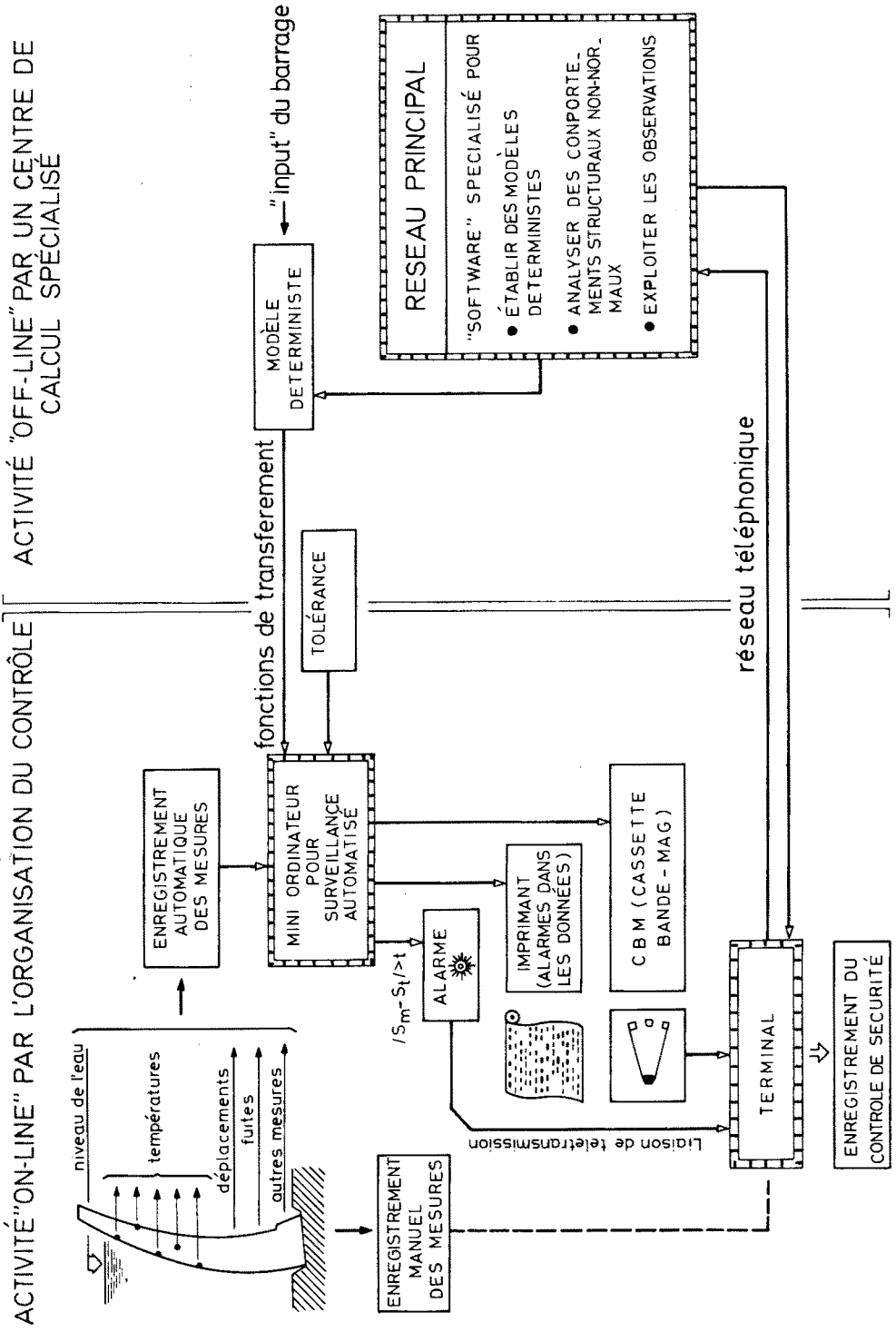
The computer implemented system can be recalled - via terminal - by each user, access being limited, by suitable passwords, to the code parts and stored data of interest to the user in question. In this way one is able to protect the secrecy of memorized data as well as to avoid damages that could be inflicted to stored data or implemented software by improper use of the system.

4.1.5. Portuguese experience

A system of automation, to function after the gathering of measurements, usually by manual operation, has been developed in Portugal. As a future development the link to automatic measurements will also be made.

Fig. 4 shows the automated operations that are essentially developed on the following three levels :

- data processing



ON-LINE ACTIVITY BY SURVEY ORGANIZATION OFF-LINE ACTIVITY BY A SPECIALIZED COMPUTER BUREAU

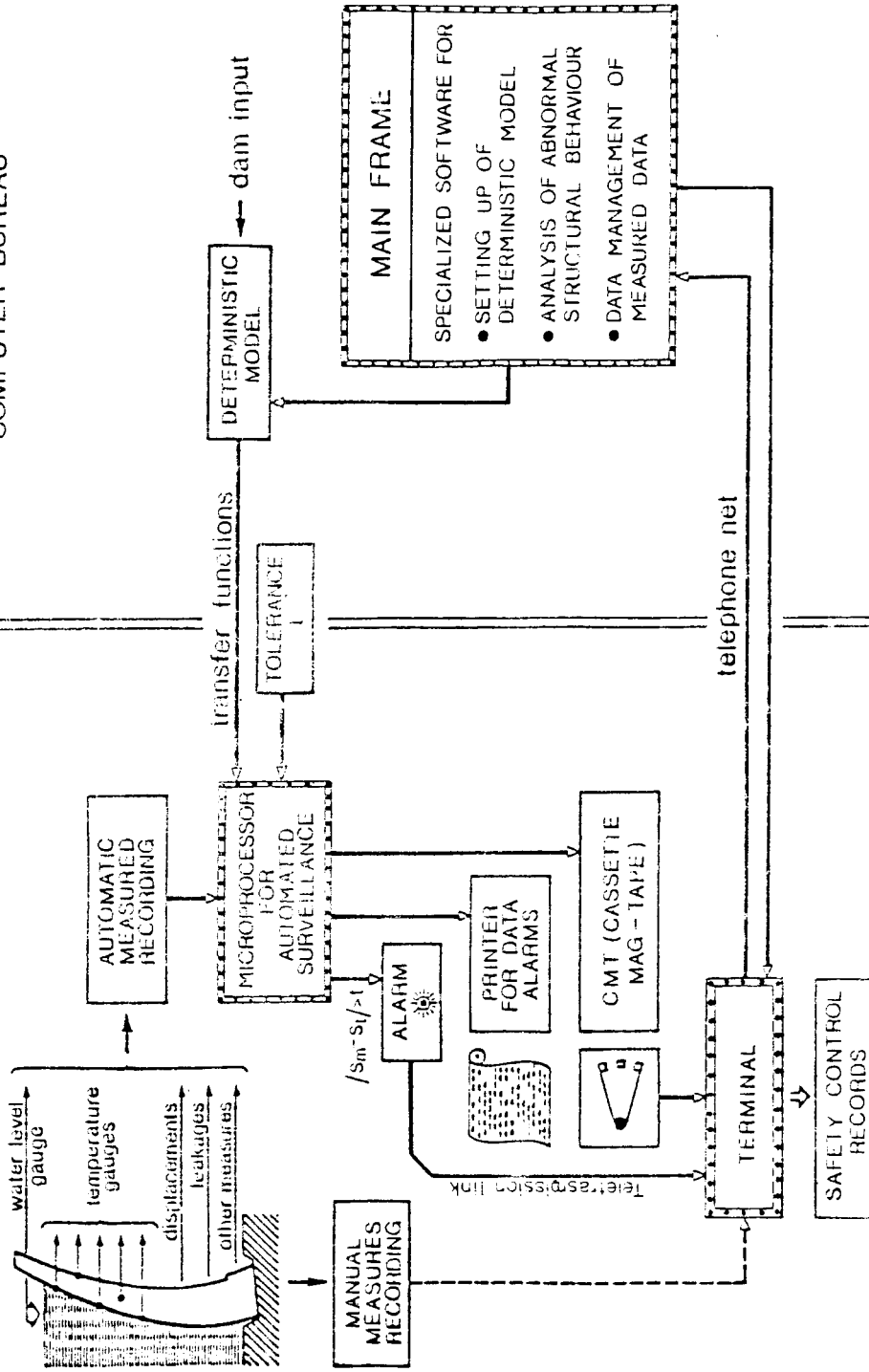


FIG. 3

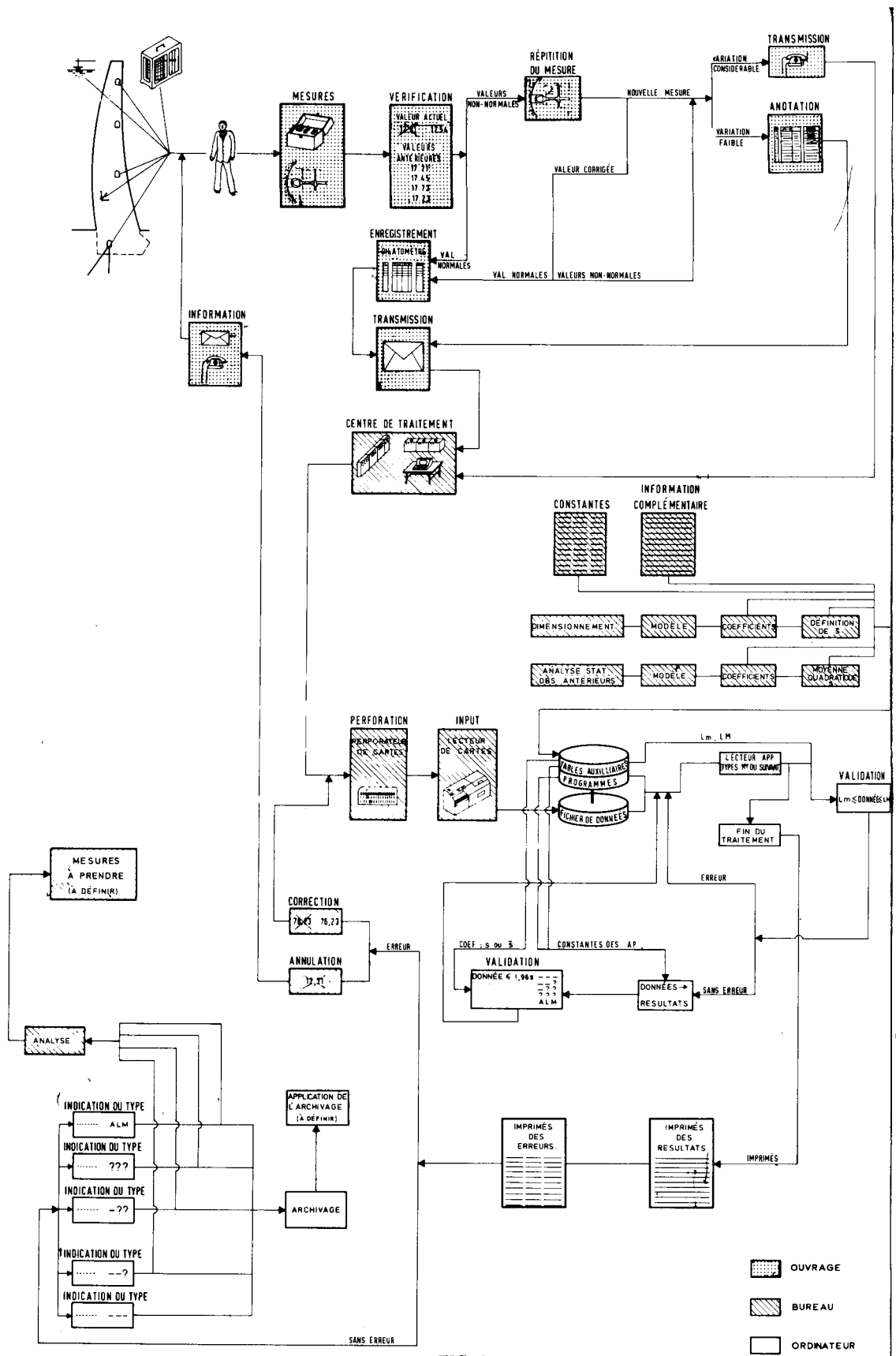


FIG. 4

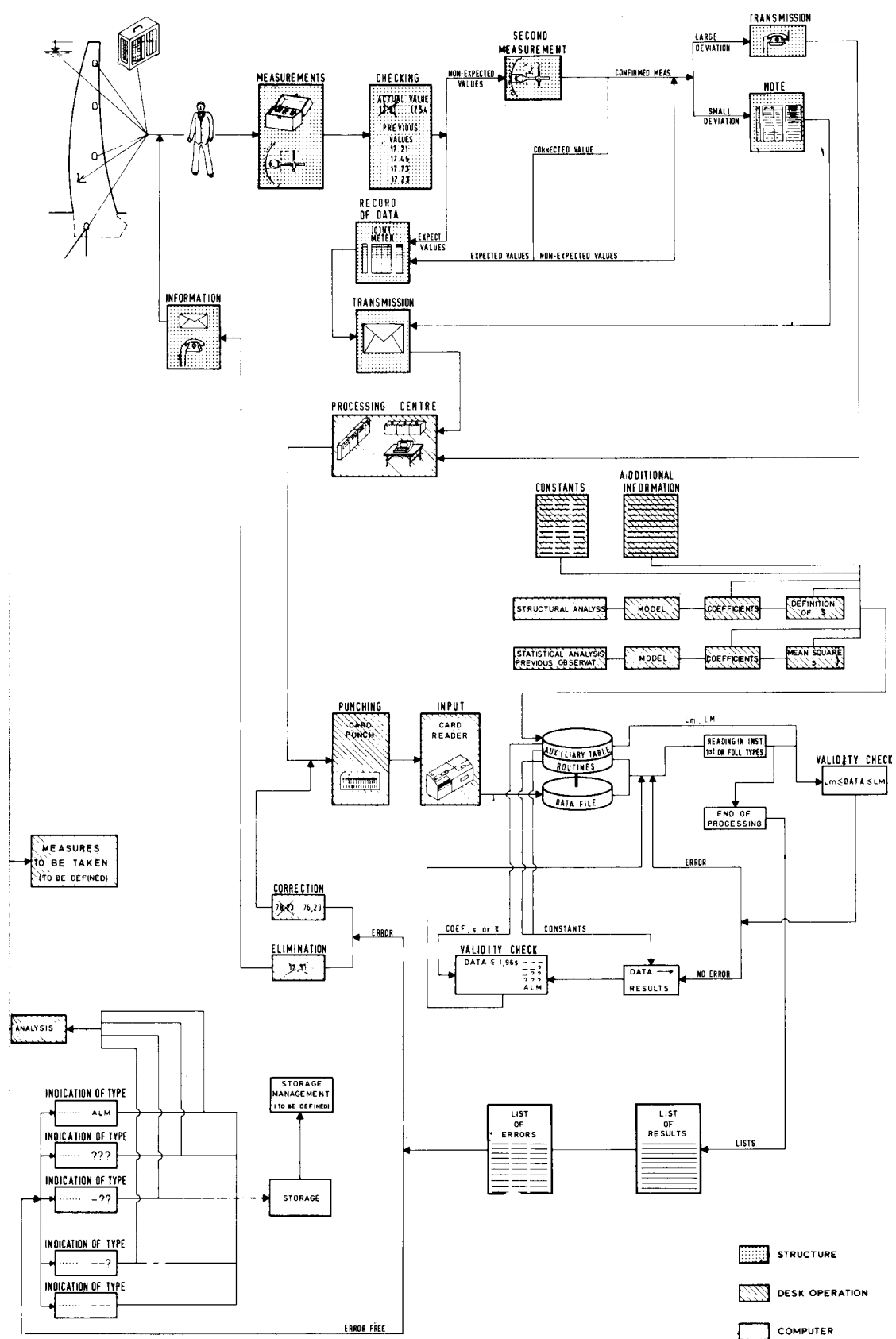


FIG. 4

STRUCTURE
 DESK OPERATION
 COMPUTER

- l'archivage;
- l'analyse des résultats.

Le traitement des données se fait dans un centre de traitement pourvu d'un ordinateur et commence dès la réception des données. Il comprend la validation de ces données (c'est-à-dire l'élimination des plus grosses erreurs), le calcul des grandeurs habituelles (qu'on appellera résultats) à partir des données, en utilisant des algorithmes connus, la validation et la préparation des résultats pour l'archivage qui se fait sur disque (pour les résultats les plus importants) et sur bande magnétique (pour tous les résultats). Les critères de validation des données sont basés sur des valeurs limites dont on pense qu'elles ne seront presque jamais dépassées dans les conditions normales du comportement du barrage; pour les résultats, ces critères sont basés sur des modèles de comportement établis à l'avance.

L'archivage des résultats se fait dans des fichiers actualisés après chaque groupe de nouvelles observations, de façon qu'il soit très facile d'extraire des ensembles de résultats (par exemple groupés par appareil, par dates, etc...) qu'il est possible de traiter par des routines (par exemple tracé automatique de diagrammes, analyses quantitatives, etc.). Il existe donc, un ensemble de routines élaborées, toujours applicables, qui font appel à certains groupes de résultats existant en archive et qui fournissent, quand on le désire, des éléments pour l'interprétation du comportement du barrage.

Finalement, en ce qui concerne l'analyse des résultats, on peut dire que ce système est préparé pour fonctionner sans modification si les résultats sont considérés comme normaux, et exige uniquement une intervention humaine pour juger rapidement les informations détaillées que l'ordinateur donne sur des imprimés; par contre, il sera soigneusement vérifié et éventuellement modifié si les résultats ne sont pas normaux. Par ces procédés, on pense que si le barrage se comporte normalement, il ne faudra agir que pour un petit nombre de résultats, car il peut toujours y avoir des erreurs, mais que, en cas de comportement anormal, l'observation jouera son rôle en rendant possible l'examen immédiat de toutes les grandeurs déjà observées. On peut donc réaliser les objectifs principaux de l'observation en temps utile, particulièrement en ce qui concerne la sécurité de l'ouvrage.

4.1.6. Une expérience américaine

Les ruptures de barrages sont dues à trois facteurs principaux : insuffisance des organes d'évacuation; fuites non contrôlées avec perte de matériaux; mouvements différentiels entre les parties composantes.

Les méthodes et moyens disponibles pour la protection contre les ruptures dues à ces facteurs peuvent se trouver dans une vaste gamme de dispositifs. Ceux-ci vont des plus simples aux plus complexes pour mesurer les débits et les mouvements. Les possibilités électroniques actuelles, les appareils à laser, les miniordinateurs, microcalculateurs et autres « hardware » sophistiqués peuvent conduire les exploitants responsables de la sécurité des barrages, à négliger l'intervention de l'élément fondamental dans le contrôle de la sécurité - l'homme ! Indépendamment des appareils de précision et des dispositifs automatiques utilisés pour le contrôle, l'*Homo sapiens* doit prendre les dernières décisions en regard à la probabilité d'instabilité des données recueillies; il doit décider des « limites » à prendre pour actionner des alarmes et on doit finalement remarquer que l'*homo sapiens* est le seul « terminal intelligent » dans un système automatisé de traitement des données.

- storage
- interpretation.

Data processing is done in a processing centre where there is an adequate computer which functions after the receipt of the data. It includes the checking of this data (that is, the elimination of major errors), the computing of usual magnitudes (which will be called results in the text) from the data collected, using adequate algorithms, and the checking and preparation of the results for storage. The storage is made on disk (most important results) and on magnetic tape (all results).

The criteria for checking the data are based on limit values, which will in principle not be exceeded if the structure behaves normally; the criteria for the results are based on models of behaviour established beforehand.

The storage of the results is made in files, which are up-dated after each new collecting of data, in such a way that any group of results can be easily extracted, grouped by type, date, etc. The groups can be used by subroutines (e.g. for the automatic drawing of diagrams, quantitative analysis, etc.). Therefore the system has many subroutines, which need results (as defined above) with an adequate organization, and supplies information for the interpretation of dam behaviour.

Finally, as regards the analysis of results, the system may work without any alteration if the results are considered normal, and asks only for human action in the quick evaluation of the detailed information contained in the computer listings; on the other hand it requires careful evaluation and possibly alteration if the results are not normal. It thus seems that with this method it will only be necessary to act in the case of a small number of erroneous results, which always exists. It will then be possible to reach the aims of observation in due time, particularly as concerns dam safety.

4.1.6. An American experience

Dam failures are caused from three basic factors: too much water for the discharge facilities; uncontrolled seepage with loss of materials; differential movement of the component parts.

The means and methods available to protect against failures due to the foregoing extend over a wide spectrum of instrumentation devices. The devices consist of the very simple to the very complex for use in measuring change in flow and in movements. The present age for electronics, laser beam devices, mini-computers, micro-processors, and other sophisticated hardware may cause those responsible for the safe operation of dams, to overlook the valuable input of the one element primary in assuring dam safety – the human individual! Regardless of the precision instrumentation and procedures of automation which are incorporated into a safety monitoring system, the individuals responsible must ultimately make the decisions regarding probability of instability from reviewing the data obtained; must decide upon the “limits” for alarm controllers and last, but by no means least, is the “intelligent element” of an automatic data processing system.

Un programme pour le contrôle de la sécurité exige une élaboration détaillée qui soit cohérente avec les autres composants du projet. Un système d'observation correctement formulé et élaboré doit être basé sur les conditions géologiques du lieu et sur les données hydrologiques et hydrauliques existant avant et après l'entrée en service de l'ouvrage. Les facteurs qui peuvent provoquer des mouvements différentiels doivent aussi être pris en compte dans les mesures ; et plus important encore, il faut se préoccuper de la façon dont l'ouvrage terminé, avec ses diverses caractéristiques, fonctionnera comme une unité, en harmonie avec sa fondation réelle et la complexité des culées qui ont été incorporées au projet.

Les plans pour le contrôle de la sécurité doivent définir les instruments et les méthodes de mesure, qui seront aussi simples et directes que leur implantation et les données à mesurer le permettent. Par exemple, si les données à acquérir concernent le niveau de l'eau dans la fondation et si un système piézométrique ouvert convient, pourquoi ne pas l'utiliser ? Par contre, si on a besoin de données relatives à des points inaccessibles (par exemple, sous les plots monolithiques en béton d'un évacuateur de crues ou dans le noyau imperméable d'un barrage), le choix devra se porter sur un système piézométrique fermé. Le projet d'instrumentation doit comporter des dispositifs redondants pour donner confiance dans les mesures, provenant de plusieurs systèmes indépendants.

Selon les instruments utilisés, il est possible de recourir à des dispositifs de mesures automatiques et d'avertir quand les mesures dépassent des limites établies pour les conditions normales d'exploitation.

Cette alarme automatique doit être dirigée vers un central où elle sera interprétée par un personnel compétent pour prévenir de fausses alertes déclenchées par un mauvais fonctionnement. Un mauvais système d'alarme dans lequel on a peu confiance, est pire que l'absence d'alarme.

Pour bien interpréter les données, il faut avoir un jugement sûr et une grande expérience. Mais ces interprétations doivent parfois être faites dans un temps très court et habituellement dans des circonstances défavorables. Aussi, tous les moyens qui facilitent le recueil, le traitement et l'interprétation des données sont les bienvenus. Cependant, les méthodes employées pour atteindre ces objectifs ne doivent pas négliger l'intervention humaine dans tous les cas où il est possible d'évaluer les données près de leurs sources ; les mesures manuelles doivent être traitées et analysées sans retard en utilisant le téléphone pour transmettre les données aux centres de traitement. Les données peuvent être traitées dès leur transmission aux centres de contrôle pour analyse et interprétation en vue de déterminer la validité des évolutions constatées et la sécurité correspondance de l'ouvrage.

Les considérations ci-dessus se rapportent à des conditions d'instabilité qui se développent normalement sur une longue période. Le dispositif de mesure et de contrôle doit pouvoir détecter des forces subites et sévères qui peuvent provoquer des ruptures immédiates. Des exemples de forces extrêmes sont donnés par les séismes, des quantités de pluie maximum, des éboulements de rives extrêmes sont donnés par les séismes, des quantités de pluie maximum, des éboulements de rives et autres circonstances catastrophiques. Des dispositifs spéciaux d'observation peuvent être nécessaires et doivent être interprétés en tenant compte des conditions locales.

La figure 5 présente un système avec recueil manuel, transmission, traitement électronique des données et tracé automatique des diagrammes. Le stade suivant comportera le recueil automatique des données (fait sur commande).

A program for dam safety requires detailed design, consistent with all other project components. A properly designed and formulated instrumentation system must be based on the prevailing geotechnical conditions of the site and on the hydrologic and the hydraulic features, prevalent both before and after the project is in operation. Also to be considered for measurement are the factors which cause differential movements of the component parts; and most importantly how the completed project with all of its several features will function as a total unit, in harmony with the in situ foundation and abutment complexities which were incorporated into the project.

Dam safety programs for detection of malfunctions should incorporate instrumentation and evaluation programs which are as simple and straightforward as the instrument location and the data to be measured will allow. As an example, if the data to be acquired is groundwater and an open system piezometer device is adequate for monitoring, use it! On the other hand, if the piezometric data required is from a remote, inaccessible location (i.e. beneath the concrete monoliths of a spillway or within the impervious core of a dam), then the choice must be a closed piezometric system. The instrumentation design should include redundant instrumentation to provide confidence in the measured data, from several independent measuring systems.

Depending upon the instrumentation system used, it is possible to incorporate automatic data monitoring capability into the system and to activate an alarm device when the measured data exceed threshold limits set for safe operating conditions.

Warnings sounded automatically should be channeled to a central location for human evaluation to prevent false alarms from being issued. A warning system in which there is little confidence is worse than not having a system.

The human evaluation of data requires mature judgment and experience. These evaluations often have to be rendered in a minimum period of time and usually under adverse circumstances. Every means to facilitate collection, reduction and evaluation of the instrumentation data must be employed. The methods to achieve those goals, however, must not preclude human intervention at all points which would allow verification of data close to its source. Manual field collection of data need not delay reduction and analysis as facilitates are available which transmit data via telephone lines from field offices to data processing centers. The data can be computed then transmitted to control centers for analysis and evaluation for determining the validity of indicated trends and the corresponding integrity of the project.

The circumstances addressed in the foregoing consider conditions of instability which normally develop over a prolonged period. The instrumentation and evaluation program must evaluate and detect sudden and severe forces which could cause immediate dam failures. Typical of extreme forces are earthquakes, maximum rainfall amounts, landslides into the reservoirs from perimeter slopes and similar catastrophic conditions. Special monitoring devices may be required and must be evaluated on a site by site basis.

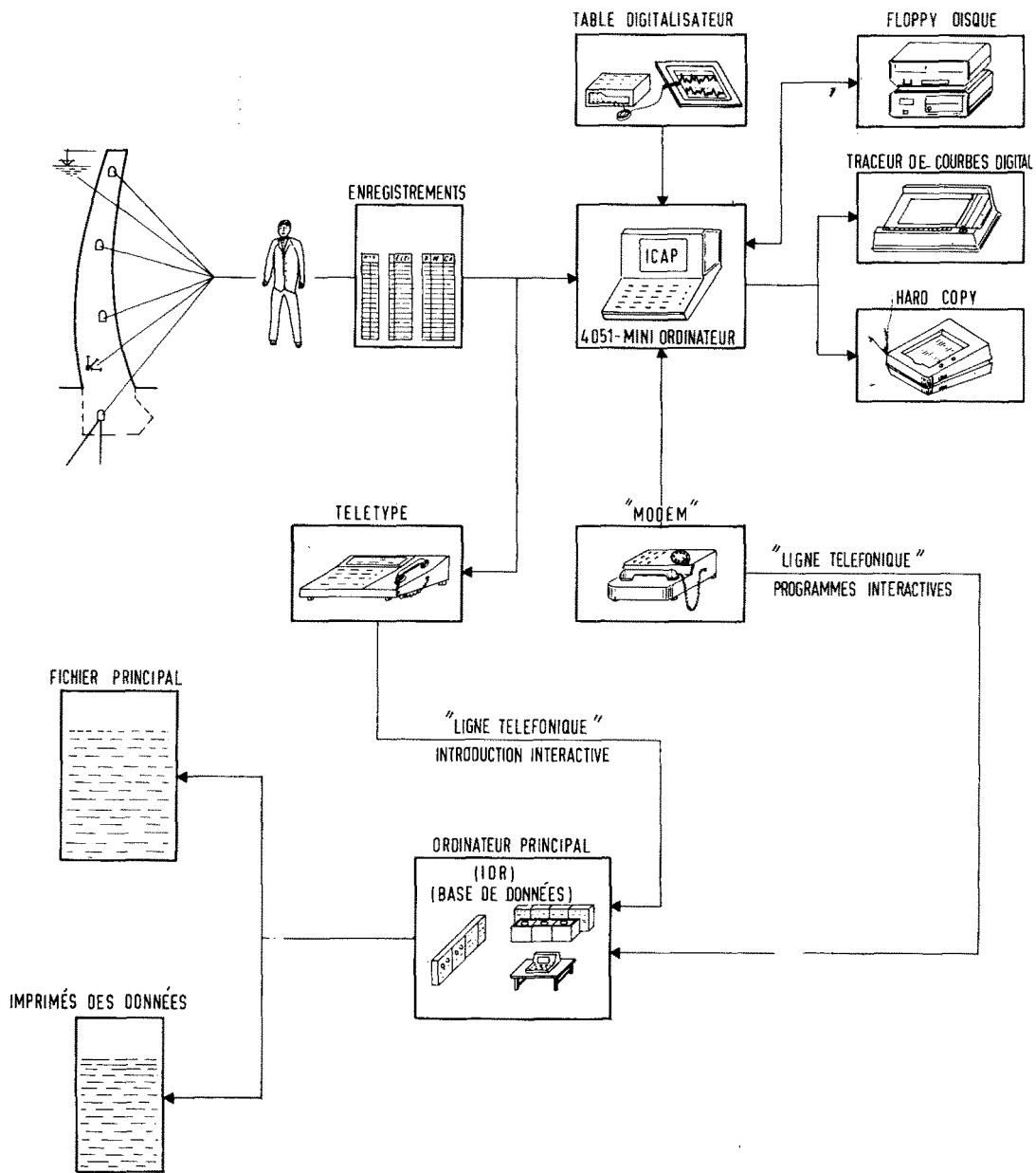
The following sketch (Fig. 5) presents a manually operated data entry, transmission, electronic data processing, and plotting system. The next progression will include automatic (on command) data acquisition.

4.2. SCHÉMA-GUIDE RÉSULTANT DE L'EXPÉRIENCE ACQUISE

Comme on le dit dans l'article 1.1, un des objectifs de ce texte est d'essayer de dégager les idées fondamentales basées sur les tendances principales déjà connues. On peut, d'après ce principe, présenter un premier essai qui sera certainement soumis à des corrections, pour donner un aperçu général des possibilités utilisables pour arriver à des automatisations plus ou moins complètes du contrôle de la sécurité (fig. 6).

4.2. GUIDELINES ON THE BASIS OF PROVEN EXPERIENCES

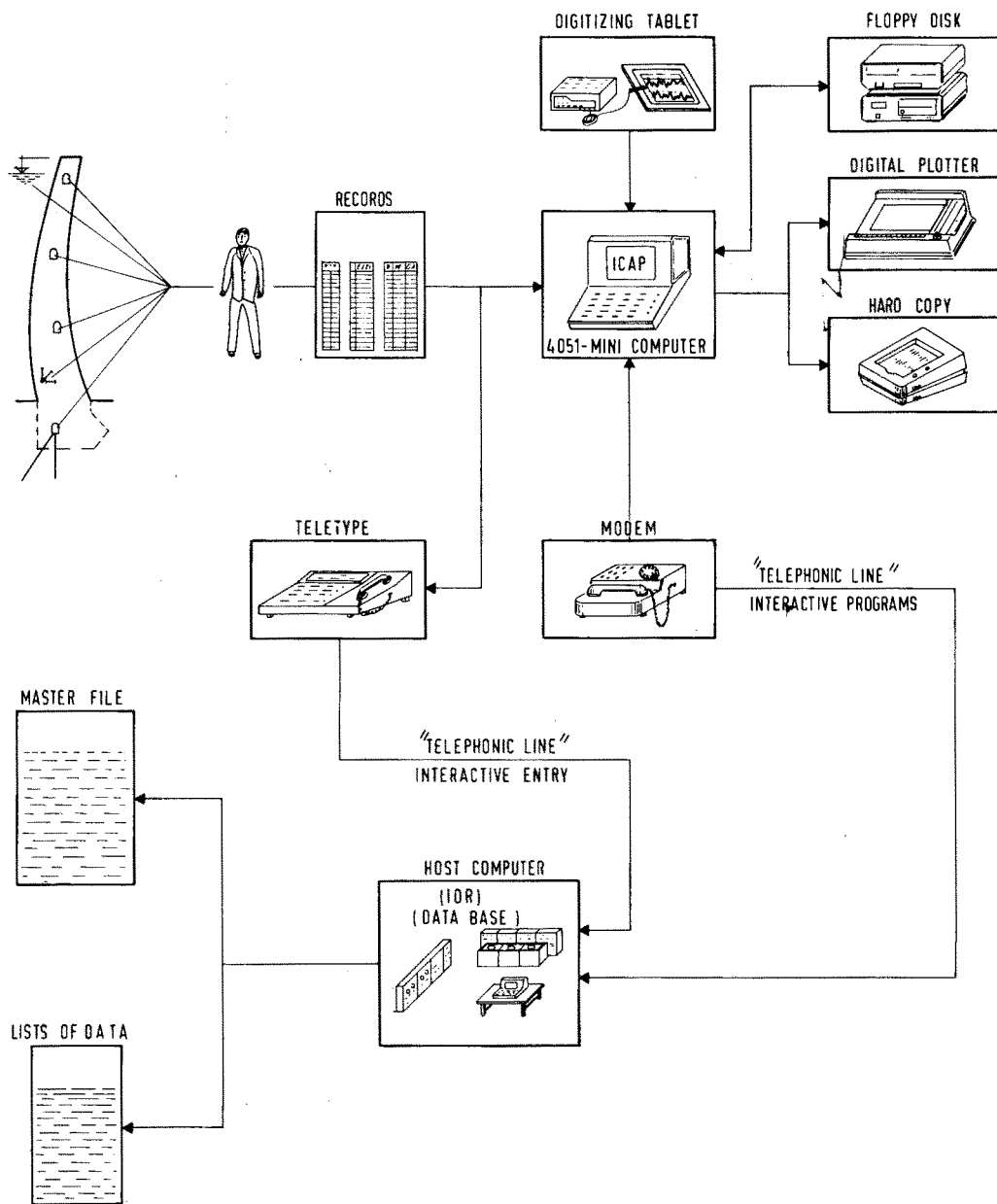
As it has been said in article 2.1. one of the aims of this work is just to try to formulate generally acceptable proposals based on the trend lines shown by the known experiences. Following the same principle a first attempt can be presented, obviously to be improved, to give an overall view of the different possible ways that can be used to attain a more or less complete safety control automation (fig. 6).



IDR - Instrumentation data reduction
 (pour l'elaboration des données et pour la manutention
 de la bibliothèque des données, en bande)

ICAP - Instrumentation Computer Aided Plotting
 (pour exécuter diagrammes des données élaborées)

FIG. 5



IDR - Instrumentation data reduction
 (for reduction of data and for maintaining the data
 tape library)

ICAP - Instrumentation Computer Aided Plotting
 (for producing plots of reduced instrumentation data)

FIG. 5

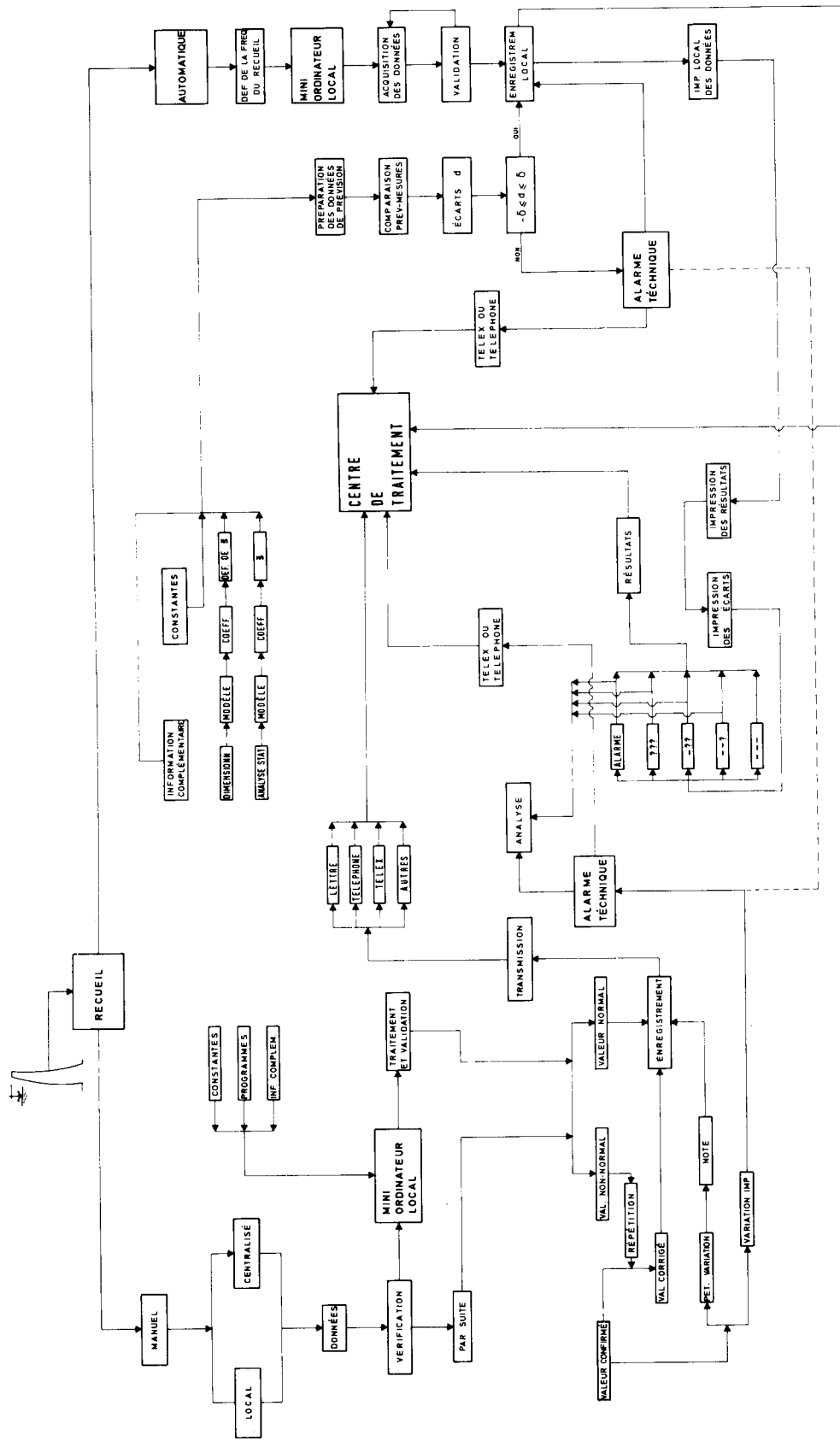


FIG. 6

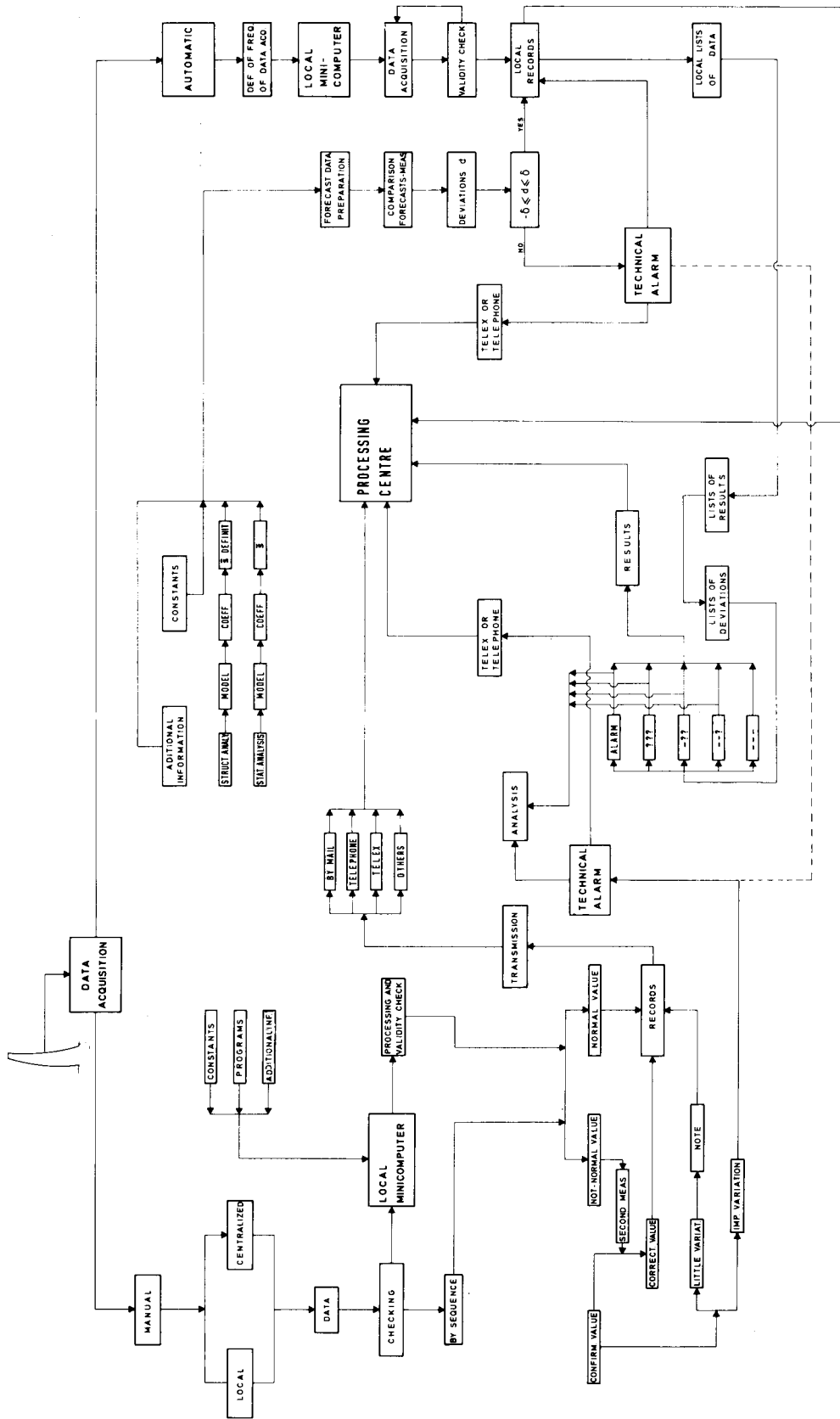


FIG. 6

5. CONCLUSIONS; RECOMMANDATIONS

Il serait peut-être utile de rappeler ici quelques-unes des idées exposées dans le texte, en particulier, celles qui conduisent à des conclusions et à des recommandations en vue d'applications.

Ainsi, des considérations faites (voir 3.3.5.), il ressort qu'au stade actuel, l'objectif d'un contrôle automatique et pratiquement « instantané » de la sécurité n'a pas été atteint et qu'il ne le sera sans doute jamais.

En effet, parmi les différentes tâches qui composent le contrôle de la sécurité (voir 3.2 et 3.3.), on peut considérer comme automatisable une grande partie des mesures, la transmission et le traitement des données, leur archivage et leur interprétation par un modèle de comportement préalablement établi (3.4); mais on ne peut pas automatiser le jugement de la sécurité ni les décisions à prendre en cas de comportement anormal.

Il existe encore quelques mesures importantes pour le jugement de la sécurité qui ne sont pas automatisables, bien qu'un progrès dans ce sens soit prévisible (voir 3.3.1); cependant, des inspections fréquentes par le personnel d'exploitation des ouvrages et des inspections périodiques effectuées par des ingénieurs spécialisés sont indispensables pour contrôler la sécurité et l'évolution des phénomènes de détérioration.

L'automatisation de l'observation présente des avantages évidents et, quoique le projet, l'installation, l'utilisation et l'entretien de tout système partiellement automatique exigent une base technologique suffisamment développée, l'automatisation est souhaitable et même inévitable dans le cas où l'équipement automatique peut exécuter les opérations nécessaires plus rapidement, à un coût plus bas et avec moins d'erreurs que l'opérateur humain. La diffusion et l'utilisation de l'expérience acquise dans ce domaine, par exemple celle mentionnée dans la Bibliographie ci-jointe, est donc souhaitable, ainsi que la poursuite des recherches destinées à couvrir plus complètement l'automatisation des domaines qui n'ont pas encore été atteints mais où cette automatisation est possible.

Parmi les acquis, où les apports de l'automatisation sont énormes pour une rapide évaluation de la sécurité des ouvrages se trouvent, comme dit plus haut, le traitement des données, leur archivage, et l'établissement des modèles de comportement mentionnés en 3.4.

En ce qui concerne l'exécution automatique des mesures, il faut tenir compte de l'aspect économique des coûts d'installation, et l'automatisation ne doit pas se faire au détriment de la surveillance humaine qui reste et restera sans doute toujours indispensable.

L'analyse des expériences acquises dans quelques pays, décrites au paragraphe 4.1, a suggéré l'élaboration d'un organigramme (fig. 6) (voir 4.2) représentant les possibilités de structuration du contrôle de la sécurité avec différents degrés d'automatisation. Cet organigramme pourra être un guide pour le choix de la structure de contrôle la mieux adaptée à chaque cas particulier. Cependant, pour le cas des barrages déjà instrumentés ou lorsque les moyens immédiatement disponibles sont limités, il convient d'automatiser d'abord le traitement et l'exploitation des données et ultérieurement leur recueil.

5. CONCLUSIONS; RECOMMENDATIONS

Perhaps we should recall here briefly the ideas expounded in the text, particularly those that make it possible to derive the conclusions and recommendations suitable to the development of the applications.

From the considerations made (paragraph 3.3.5) it can thus be seen that the automatic control of safety, which we can consider to be almost "instantaneous", has not yet been achieved and it may even be said that it never will.

In fact, among the different tasks that are comprised in the safety control (see article 3.2. and 3.3) most measurements can be automated as well as the data transmission, processing, filing and interpretation as regard the establishment of behaviour models (article 3.4); however, the safety assessment and decisions to be taken in case of abnormal behaviour can not be automated.

For the time being there are still some measurements of importance for assessing safety that cannot be automated, and some progress in this domain may be expected (paragraph 3.3.1); nevertheless, frequent inspection by personnel in charge of observation or operation of the structure and periodic inspection by specialists are indispensable for the control of safety and of the evaluation of deterioration phenomena.

The advantages of the automation of observations are quite clear; however, although the design, installation, use and maintenance of any partially automatic system require a thoroughly developed technology basis, the implementation of automation is much to be desired. It will prove inevitable whenever the automatic equipment can carry out the operations required at greater speed, lower cost and with less errors than the human operator. Thus it is useful to make known and use the experience already available in these domains, which is reported in the Bibliography, as well as to proceed with research so that some domains where automation, though possible, has not yet been applied, may be covered in the future.

Among the aspects already dealt with in which the potentialities of automation are enormous to help the quick assessment of the structural safety, mention should be made of the data processing, filing, and establishment of models of behaviour as said above.

As concerns the automatic collection of data (measurements) the cost of the installation is an aspect to be taken into consideration; however, the continuous recording or recording at very short intervals should be desired and already is rather frequent regarding some quantities of the greatest importance for the assessment of safety, without discarding the always indispensable human surveillance.

From the analysis of the different proven experience presented in article 4.1, the organigramme * shown in Fig. 6 (see article 4.2) has been drawn, which represents some possible organization schemes of the safety control, with different ways of participation of automatic methods. This organigramme * may be a guide to choose the most adequate organization for each particular case. However, in the case of dams for which the monitoring scheme is already at work, or when the available means are limited, it seems advisable to use it first in the treatment and exploitation of data and then extend it to the collection of data.

* Organisation chart.

Le problème de la sécurité est, après tout, notre préoccupation essentielle et quelques considérations dans ce sens ont été développées à propos du thème de l'automatisation. En effet, il est fondamental de définir convenablement le système d'observation (l'ensemble des grandeurs à observer), et la périodicité des mesures : dans cette recherche, il faut tenir compte outre des aspects techniques, des valeurs économiques et autres en jeu. Cette question est traitée à l'article 2.2. et des critères ont été proposés à titre d'exemple. Ils correspondent à une pratique courante dans les pays à technologie développée, mais le thème exige une réflexion plus poussée à laquelle la C.I.G.B. pourrait contribuer.

Un des aspects les plus évidents du point de vue de la sécurité est la nécessité de disposer d'évacuateurs de crue d'une capacité suffisante et d'organes de contrôle et de manœuvre sûrs. Comme les données hydrologiques disponibles ou les critères de dimensionnement de quelques barrages anciens sont très probablement critiquables, une tâche importante serait de reconnaître ces cas. Là aussi, la C.I.G.B. pourrait y contribuer.

Si le jugement de la sécurité amène à conclure à un comportement non satisfaisant, il faut déterminer les décisions à prendre (3.5.2) qui peuvent aller d'un simple renforcement de l'auscultation pour des phénomènes à évolution très lente et détectés précocement, jusqu'à la nécessité d'une alerte à la population en cas de risque imminent de rupture, en passant par toutes les situations intermédiaires telles que limitation du niveau d'exploitation du réservoir, ou différentes sortes de réparation à caractère plus ou moins urgent.

En cas d'alerte, il faut décider aussi s'il convient ou non d'employer les dispositifs automatiques, à utiliser normalement après un jugement d'expertise de la situation. Pour prévoir les dispositifs appropriés de protection civile, il faut faire des études de prévision de la propagation des ondes de crue causées par une rupture subite (zones inondables, cotes atteintes et temps d'arrivée). Si ces dispositifs existent, la population doit être instruite de ce qu'elle doit faire.

L'existence d'une législation et d'une réglementation suffisamment précises pour imposer les dispositifs indispensables, mais suffisamment générales pour ne pas limiter l'évolution des solutions, sera une aide dans l'établissement de systèmes d'observation appropriés et dans le développement souhaitable de l'automatisation.

On pense aussi qu'une large diffusion et la discussion de l'expérience acquise dans le domaine de l'automatisation des observations, ainsi que celle qui deviendrait disponible si ce thème était adopté dans un prochain congrès de la C.I.G.B. constitueraient un des moyens les plus efficaces pour développer au mieux l'utilisation de dispositifs automatiques.

Actually the problem of safety is at the core of our concerns and thus some considerations were developed out of scope of automation. It is a basic need to define the observation system suitably, this system being understood as the set of quantities to be observed and the periodicity of the observations; on the other hand, for this definition economic values and other concerns in addition to technical aspects should be taken into account. Such a question was dealt with in 2.2, and as an example some criteria were proposed. These criteria are thought to correspond to the current practice in countries of more developed technology. This subject is believed to require a more thorough consideration, however, to which ICOLD may contribute.

One of the outstanding aspects from the point of view of safety is the need for spillways with suitable capacity and of reliable controlling and operating devices. As the hydrologic data or the design criteria available at the time of the design of older dams are likely not to have been sufficient or adequate, it seems that it would be important to trace and list these cases. With this aim, ICOLD could also give a valuable contribution.

If the assessment of safety leads to conclude that the behaviour is not satisfactory, the strategies of decision (paragraph 3.5.2) must be defined, which range from the simple improvement of the observation of behaviour for early detection of slowly developing phenomena, up to the warning of population in case of impending risk of failure, including such intermediate situations as the limitation of the maximum level in reservoir, or different kinds of repairs, more or less urgent.

In connection with the case of alarm, a question arises as to the possible use of automatic devices to be operated after an assessment of the situation by experts. To forecast the adequate civil protection devices, studies have to be carried out on the propagation of the flood waves caused by a sudden rupture (flood areas, levels reached, and arrival times). Whenever these devices exist, the populations have to be duly informed on the way to act.

The existence of laws and regulations accurate enough to impose the indispensable devices but also general enough not to exclude the possibility of evolution of the most suitable solutions, will help establish suitable observation systems as well as encourage the desired development of automation.

It is also believed that a wide discussion and publicizing of existing experiences in the field of the automation of observation, which would be possible if this theme were submitted in one of the next ICOLD congresses, would be one of the most efficient means in the implementation of automatic devices according to the most convenient criteria.

6. BIBLIOGRAPHY – BIBLIOGRAPHIE

6.1. *Criteria for the Definition of Surveillance Installations. Logic Structure of Safety Control*

Critères pour la définition des dispositifs d'auscultation. Structure logique du contrôle de la sécurité

- [1] BRYZGALOV, V.I., SHUSHARIN, A.D. – Operating efficiency of hydraulic structures, organization of inspection, and certain results of observations on the hydraulic structures of the Krasnojarsk hydroelectric plant. *Hydrotechnical construction*, February, 1978.
- [2] EIDELMAN, S. Ya *et al.* – Operational control on dam performance in the U.S.S.R. R.10-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [3] FANELLI, M. – Automatic observation and instantaneous safety control of dams. *Water Power & Dam Constr.*, Nov.-Dec. 1979.
- [4] FANELLI, M., GIUSEPPE, G. – Two extreme cases of on-line control of structures. IUTAM, 1980.
- [5] GANSER, O. – Kops dam. Instrumentation. Methods of observation and interpretation of results. R.7-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [6] GRAY, D.A. – Safety of dams - Bureau of Reclamation. *Journal of the Hydraulics Division*, HY2, February, 1974.
- [7] HUNT, H.M., ROUND, R.P.D. – Dam safety in British Columbia. *Water Power & Dam Constr.*, January, 1978.
- [8] HUGGENBERGER, A.U. – Safety and behaviour of concrete dams. Methods of observations and organization. R.11-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [9] SINNIGER, N. – Control measurements on dams. Rapid survey methods. R.2-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.

6.2. *Automatic Observation – Observation automatique*

- [10] DASCAL, O. – Manicouagan - 3 Auscultation du barrage principal. *Canadian Geotechnical Journal*, 10, 536 (1973).
- [11] ENEL. – *Behaviour of ENEL's large dams*, Roma, 1980.
- [12] FANELLI, M. *et al.* – Experience gained during control of static behaviour of some large italian dams. R.44-Q.49, *XIIIth Congress ICOLD*, New Delhi, 1979.
- [13] See above [3].
- [14] HAUTZENBERG, H. – Automatic supervision of Koelnbrein arch dam. R.18-Q.49, *XIIIth Congress ICOLD*, New Delhi, 1979.
- [15] HUGGENBERGER, A.U. – Indication et enregistrement à distance de la flèche maximum d'un barrage en fonction du temps, de la température et du niveau de la retenue. C.7, *VIIIth Congress ICOLD*, Edimbourg, 1964.
- [16] LORENZ, W., LIST, F. – The grout curtain of Sylvenstein dam. Methods of observation and measurement. R.19-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [17] REBAUDI, A. – Behaviour of Place Moulin arch-gravity dam during the first reservoir test filling. R.30-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [18] SERAFIM, L. *et al.* – Economical concepts of concrete dams after results of observation. R.16-Q.43, *XIth Congress ICOLD*, Madrid, 1973.

- [19] VENZIN, C. – Fernübertragung von Messwerten zur Überwachung des Talsperren. *Wasser Energie, Luft*, 70, Jahrgang Heft 1/2, 1978.

6.3. Behaviour Models – Modèles de comportement

- [20] BONALDI, P. *et al.* – Displacement forecasting for concrete dams. *Water Power & Dam Constr.*, September, 1977.
- [21] BONALDI, P. *et al.* – Concrete Dam Problems : an outline of the role, potential and limitations of numerical analysis. *Symposium on Criteria and Assumptions for Numerical analysis of Dams*. Swansea (Wales), 1975.
- [22] See above [11].
- [23] FANELLI, M. *et al.* – Premiers résultats d'un procédé d'évaluation continue des déplacements appliqués au contrôle de barrages en exploitation. R.37-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [24] See above [12].
- [FANELLI, M., GIUSEPPE, G. – Thermal diffusivity in solids. *Water Power & Dam Constr.*, May, 1979.
- [26] GICOT, H. – Une méthode d'analyse des déformations des barrages. C.I., *XIIIth Congress ICOLD*, Mexico, 1976.
- [27] HAI-NING, C. *et al.* – Analysis of observation data of Quanshui arch dam and estimation of its strength safety factor. R.34-Q.49, *XIIIth Congress ICOLD*, New Delhi, 1979.
- [28] LUGIEZ, F. *et al.* – L'auscultation des barrages en exploitation au service de la Production Hydraulique d'Electricité de France. Des principes aux résultats. R.33-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.
- [29] MARAZIO, A. – Analisi statistiche sul comportamento di una grande diga nei primi anni d'esercizio. *L'Energia Elettrica*, 42 (4), April 1965, Milano.
- [30] MOTTA, A., RUSSO, F. – Dédutions tirées des résultats des mesures du déplacement exécutées sur quelques barrages pendant la période d'exploitation. R.46-Q.34, *IXth Congress ICOLD*, Istanbul, 1967.
- [31] NAKAMURA, K. *et al.* – Analysis on behaviour of arch dam by multivariate analytical method. C.6, *VIIIth Congress ICOLD*, Edinburgh, 1964.
- [32] PEDRO, J. *et al.* – Observation methods for controlling the safety and deterioration of concrete dams. R.25-Q.49, *XIIIth Congress ICOLD*, New Delhi, 1979.
- [33] SPAGNOLETTI, S. – Sul comportamento della diga a gravità alleggerita a elementi cavi tipo "Marcello". *L'energia Elettrica*, 1960 (vol. 37, n° 10), 1962 (vol. 39, n° 3, 4, 10), 1963 (vol. 40, n° 5).
- [34] SCHNITZER, N. – Die sofortige Überprüfung von Staumauerdeformationen. *Schweizerische Bauzeitung*, 49 (87), Zurich, 1969.
- [35] SILVEIRA, A., PEDRO, J.O. – Quantitative interpretation of results obtained in the observation of concrete dams. R.43-Q.29, *VIIIth Congress ICOLD*, Edinburgh, 1964.
- [36] WIDMANN, R. – Evaluation of deformation measurements performed at concrete dams. R.38-Q.34, *IXth Congress ICOLD*, Istanbul, 1967.
- [37] WILLM, G., BEAUJOINT, N. – Les méthodes de surveillance des barrages au service de la Production Hydraulique d'Electricité de France. Problèmes anciens et solutions nouvelles. R.30-Q.34. *IXth Congress ICOLD*, Istanbul, 1967.

6.4. Strategies, decisions, alarm and intervention criteria – Stratégies, décisions, alertes

- [38] See above [4].

- [39] See above [12].
- [40] Groupe de Travail du Comité Français. Méthodes de détection des détériorations des barrages. R.22-Q.49, *XIIIth Congress ICOLD*, New Delhi, 1979.
- [41] See above [28].
- [42] RAJCEVIC, M., LUKIC, T. – The organization of compulsory observation of large dams in Yugoslavia. R.35-Q.38, *Xth Congress ICOLD*, Montreal, 1970.

6.5. Regulations and Recommendations – Réglementations et recommandations

- [43] International Commission on Large Dams (Committee on Observation and Models). *Bulletin 23*, 1972.
- [44] International Commission on Large Dams (Committee on Risks to Third Parties from Large Dams). *Bulletin 29*, 1977.
- [45] UNESCO. *Recommendations concerning reservoirs*. November, 1966.

7. LIST OF APPENDICE

TABLES

Table 1. – Proposed risk conditions evaluation

Table 2. – Proposed monitoring installations and surveillance scheme (concrete dams)

Table 3. – Proposed monitoring installations and surveillance scheme (fill dams)

Table 4. – Proposed frequency under normal conditions (concrete dams)

Table 5. – Proposed frequency under normal conditions (fill dams)

Table 6. – Correlation matrix : causes of deterioration. Means of detection

FIGURES

Fig. 1. – Schemes of Automation. Spanish Experience

Fig. 2. – Schemes of Automation. French Experience

Fig. 3. – Schemes of Automation. Italian Experience

Fig. 4. – Schemes of Automation. Portuguese Experience

Fig. 5. – Schemes of Automation. American Experience

Fig. 6. – Schemes of Automation. Guide Scheme

7. LISTE DES ANNEXES

TABLEAUX

Tableau 1. – Jugement proposé des conditions de risque

Tableau 2. – Dispositifs d'auscultation et surveillance proposés (barrages en béton)

Tableau 3. – Dispositifs d'auscultation et surveillance proposés (barrages en remblai)

Tableau 4. – Fréquence des observations proposées (barrages en béton) dans les conditions normales

Tableau 5. – Fréquence des observations proposées (barrages en remblai) dans les conditions normales

Tableau 6. – Matrice de corrélation : causes des détériorations. Moyens de détection

FIGURES

Fig. 1. – Schémas d'automatisation. Expérience espagnole

Fig. 2. – Schémas d'automatisation. Expérience française

Fig. 3. – Schémas d'automatisation. Expérience italienne

Fig. 4. – Schémas d'automatisation. Expérience portugaise

Fig. 5. – Schémas d'automatisation. Expérience américaine

Fig. 6. – Schémas d'automatisation. Schéma-guide

TABLEAU 6

COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																								
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Observation directe																									
	Investigations locales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	échantillons et essais en lab.																									
	photographie																									
	essais sur modèle réduit																									
	révision du project																									
	enquête sur le mode de construction																									
	mouvements relatives																									
	mouvement vertical																									
	mouvement angulaire																									
	mouvement horizontal																									
	déformations																									
	tassements																									
	sous-pressions et p. interstiel.																									
	mesures sismiques																									
	humidité																									
	température																									
	mesures de pluie																									
	débts																									
	turbidité																									
	mesures bathimétriques																									
	émission acoustique																									
	mesures des joints et fissures																									
	contraintes																									
1.	Barrages en béton y compris leurs fondations																									
1.1	Dû au massif de fondation																									
1.1.1	Reconnaisances incomplètes ou inadaptées	0																								
1.1.2	Déformation et tassements																									
1.1.3	Résistance au cisaillement																									
1.1.4	Percolation																									
1.1.5	Erosion interne																									
1.1.6	Altération (y compris gonflement)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.7	Etat initial de contrainte																									
1.1.8	Contraintes de traction à l'amont du barrage																									
1.1.9	Préparation de la surface de fondation																									
1.1.10	Traitement de consolidation																									
1.1.11	Rideaux d'injections et autres dispositifs d'étanchéité	0																								

TABLEAU 6 (suite)

		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																								
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES																										
COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS																										
GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES																										
MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION																										
Causes de détérioration																										
1.4	<i>Dû au comportement structural des barrages voûtes et voûtes multiples (y compris la période de construction)</i>	0																								
1.4.1	Formes et insertion dans la vallée																									
1.4.2	Contraintes de traction																									
1.4.3	Concentration de contraintes due à des singularités de forme de la surface de fondation																									
1.4.4	Concentration de contraintes autour d'ouvertures et de singularités de formes																									
1.4.5	Culées artificielles																									
1.4.6	Distribution et type de joints																									
1.4.7	Revêtements																									
1.5	<i>Dû au comportement structural des barrages poids et à contreforts</i>																									
1.5.1	Formes et insertion dans la vallée																									
1.5.2	Contraintes de traction																									

TABLEAU 6 (suite)

	Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																								
	a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES																									
COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS																									
GRUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES																									
MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION-MOYENS DE DETECTION																									
Causes de détérioration																									
2.1.9 Pergélisol (permagel)	0																								
2.1.10 Préparation de la surface de fondation						0																			
2.1.11 Captage des eaux d'infiltration pendant la construction						0																			
2.1.12 Traitement de consolidation	0								x																
2.1.13 Dispositifs d'étanchéité (murs et tranchées paraf., rideau d'inject.)														x											
2.1.14 Tapis imperméables														x											
2.1.15 Systèmes de drainage et filtres	0													x											
2.1.16 Obturation de galeries, puits et forages d'investigation	0													x											
2.2 <i>Du aux matériaux et à l'exécution des remblais à l'exclusion des filtres et des drains (voir 2.4)</i>																									
2.2.1 Argiles fines		0								x														x	
2.2.2 Argiles organiques		0								x														x	

TABLEAU 6 (suite)

COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION Causes de détérioration		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																							
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2.4	<i>Dû au comportement</i>																								
2.4.1	Formes et insertion dans la vallée					0	0							x											
2.4.2	Noyau imperméable											x										x			
2.4.3	Autres systèmes d'étanchéité												x												
2.4.4	Zones de transition												x												
2.4.5	Recharges												x												
2.4.6	Filtres (y compris matériaux et exécution)													x											
2.4.7	Systèmes de drainage (y compris matériaux et exécution)	0													x										
2.4.8	Protection des parements	0																							
2.4.9	Liaison entre éléments en béton et remblais adjacents	0																							
2.4.10	Déformation (y compris transferts de charge, fissuration, effet arc et fracturation hydraulique)	0																							
2.4.11	Percolation	0																							

TABLEAU 6 (suite)

COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																							
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Observation directe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.10	Traitement de consolidation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.11	Rideaux d'injections et autres dispositifs d'étanchéité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.12	Systèmes de drainage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.13	Obturation de galeries, puits et forages d'investigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2	<i>Du au mortier</i>																								
3.2.1	Réaction entre composant de la maçonnerie (y compris réactions alcalis-agrégats)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.2	Réaction entre composants de la maçonnerie et milieu extérieur (y compris dissolution de chaux)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.3	Résistance au gel et dégel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.4	Attaques par les bactéries	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.5	Résistance à la compression	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.6	Résistance au cisaillement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 6 (suite)

COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																							
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3.7	Dû à l'entretien	Observation directe	investigations locales	échantillons et essais en lab.	photographie	essais sur modèle réduit	révision du project	enquête sur le mode de construction	mouvements relatifs	mouvement vertical	mouvement angulaire	mouvement horizontal	déformations	tassements	sous-pressions et p. intersticiel.	mesures sismiques	humidité	température	mesures de pluie	débts	turbidité	mesures bathimétriques	émission acoustique	mesures des joints et fissures	contraintes
3.7.1	Inspections périodiques	0																		x					
3.7.2	Nettoyage des drains																								
3.7.3	Contrôle des débits d'infiltration																			x	x				
3.7.4	Pompage des eaux d'infiltration	0																							
3.7.5	Détérioration des instruments de mesure	0																							
4.	Ouvrages annexes																								
4.1	Dû aux fondations des structures (quand celles-ci n'ont pas les mêmes caractéristiques que celles du barrage)																								
4.1.1	Reconnaitances incomplètes ou inadaptées																								
4.1.2	Déformation et tassements	0					0		x	x	x	x	x												x
4.1.3	Résistance au cisaillement																								
4.1.4	Percolation	0	0	0																					

TABLEAU 6 (suite)

COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES COMITE DE DETERIORATION DES BARRAGES ET RESERVOIRS GROUPE DE TRAVAIL POUR L'OBSERVATION AUTOMATIQUE ET LE CONTROLE INSTANTANE DE LA SECURITE DES BARRAGES MATRICE DE CORRELATION : CAUSES DE DETERIORATION- MOYENS DE DETECTION		Mesures de grandeurs et autres observations (x indique possibilité d'automatisation)																							
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Causes de détérioration	Observation directe	investigations locales	échantillons et essais en lab.	photographie	essais sur modèle réduit	révision du project	enquête sur le mode de construction	mouvements relatifs	mouvement vertical	mouvement angulaire	mouvement horizontal	déformations	tassements	sous-pressions et p. intersticiel.	mesures sismiques	humidité	température	mesures de pluie	débîts	turbidité	mesures bathométriques	émission acoustique	mesures des joints et fissures	contraintes
4.1.1.5	Détérioration des instruments de mesure	0																							
4.1.1.6	Mauvais fonctionnement des organes d'évacuation	0																							
4.1.1.7	Débris dans les bassins de dissipation	0																							
5.	Retenues	0																							
5.1	Glissement des versants	0							x	x	x	x							x				x	x	
5.2	Renversement de blocs de rocher	0							x	x															
5.3	Perméabilité	0	0	0																	x				
5.4	Envasement	0	0	0																		x			
5.5	Equilibre écologique	0	0	0																					
6.	A l'aval	0																							
6.1	Equilibre du lit de la rivière	0		0																			x		
6.2	Stabilité des versants	0																							
6.3	Equilibre écologique	0	0	0																					

TABLE 6

TABLE 6 (cont'nd)

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS COMMITTEE ON DETERIORATION OF DAMS AND RESERVOIRS TASK GROUP ON AUTOMATIC OBSERVATION AND INSTANTANEOUS SAFETY CONTROL OF DAMS CORRELATION MATRIX : CAUSES OF DETERIORATION- MEANS OF DETECTION		Measurements of quantities and other observations (x denotes possibility of automation)																								
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Causes of deficient behaviour	direct observations	local investigations	sampling and laboratory tests	photographs	model tests	design revision	inquiry of construction procedures	relative movements	vertical displacements	angular displacements	horizontal displacements	strain	settlement	uplift and pore pressures	seismic measurements	humidity	temperature	rainfall measurements	flows	turbidity	bathymetric measurements	sounding investigations	crack and joint measurements	stresses	
2.1.9	Permafrost	0					0	0																		
2.1.10	Preparation of foundation surface						0	0																		
2.1.11	Ponding during construction						0																			
2.1.12	Strengthening treatment	0								x																
2.1.13	Watertight systems (cutoff walls and trenches, grout curtains, . . .)	0																			x					
2.1.14	Impervious blankets																									
2.1.15	Drainage systems and filters	0																			x					
2.1.16	Sealing of galleries, shafts & boreholes used for invest.	0																			x					
2.2	<i>Due to embankment materials and method of construction, excluding filters and drains (see 2.4)</i>			0																						
2.2.1	Fine clays			0																						
2.2.2	Organic clays			0																						

TABLE 6 (cont'nd)

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS COMMITTEE ON DETERIORATION OF DAMS AND RESERVOIRS TASK GROUP ON AUTOMATIC OBSERVATION AND INSTANTANEOUS SAFETY CONTROL OF DAMS CORRELATION MATRIX : CAUSES OF DETERIORATION- MEANS OF DETECTION		Measurements of quantities and other observations (x denotes possibility of automation)																							
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	direct observations	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.10	Strengthening treatment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.11	Grout curtains and other watertight systems	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.12	Drainage systems	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.13	Sealing of galleries, shafts & boreholes used for invest.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2	<i>Due to mortar</i>																								
3.2.1	Reaction of masonry constituents (including alkali-aggregate reaction)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.2	Reactions between masonry constituents and the environment (including dissolution of calcium hydroxide)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.3	Resistance to freezing and thawing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.4	Attack by bacteria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.5	Compressive strength	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2.6	Shear strength	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	relative movements																								
	vertical displacements																								
	angular displacements																								
	horizontal displacements																								
	strain																								
	settlement																								
	uplift and pore pressures																								
	seismic measurements																								
	humidity																								
	temperature																								
	rainfall measurements																								
	flows																								
	turbidity																								
	bathymetric measurements																								
	sounding investigations																								
	crack and joint measurements																								
	stresses																								

TABLE 6 (cont'nd)

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS COMMITTEE ON DETERIORATION OF DAMS AND RESERVOIRS TASK GROUP ON AUTOMATIC OBSERVATION AND INSTANTANEOUS SAFETY CONTROL OF DAMS CORRELATION MATRIX : CAUSES OF DETERIORATION- MEANS OF DETECTION		Measurements of quantities and other observations (x denotes possibility of automation)																								
		a	b	c	d	e	f	g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	direct observations																									
4.11.5	Deterioration of measurement instrumentation	0																								
4.11.6	Malfunction of discharge equipment	0																								
4.11.7	Debris in stilling basins	0																								
5.	Reservoirs	0																								
5.1	Slope sliding	0																								
5.2	Overturning of rock blocks	0																								
5.3	Permeability	0																								
5.4	Silting	0																								
5.5	Ecologic equilibrium	0																								
6.	Downstream	0																								
6.1	Equilibrium of river bed	0																								
6.2	Slope stability	0																								
6.3	Ecologic equilibrium	0																								
			local investigations																							
			sampling and laboratory tests																							
			photographs																							
			model tests																							
			design revision																							
			inquiry of construction procedures																							
			relative movements																							
			vertical displacements																							
			angular displacements																							
			horizontal displacements																							
			strain																							
			settlement																							
			uplift and pore pressures																							
			seismic measurements																							
			humidity																							
			temperature																							
			rainfall measurements																							
			flows																							
			turbidity																							
			bathymetric measurements																							
			sounding investigations																							
			crack and joint measurements																							
			stresses																							

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>