



**GENERAL CONSIDERATIONS
APPLICABLE TO INSTRUMENTATION
FOR EARTH AND ROCKFILL DAMS**

**CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES
SUR L'AUSCULTATION DES BARRAGES
EN TERRE ET EN ENROCHEMENTS**

**INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES**

20, Rue de l'Arcade - 75-PARIS-8°

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.

**INTERNATIONAL
COMMISSION
ON LARGE DAMS**

**COMMISSION
INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES**

**COMMITTEE
ON OBSERVATION
OF DAMS AND MODELS**

**COMITÉ
POUR L'OBSERVATION
DES BARRAGES ET MODÈLES**

**GENERAL CONSIDERATIONS
APPLICABLE TO
INSTRUMENTATION FOR EARTH AND ROCKFILL DAMS**

**CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES
SUR L'AUSCULTATION
DES BARRAGES EN TERRE ET EN ENROCHEMENTS**

TABLE OF CONTENTS

TABLE DES MATIÈRES

	Pages		Pages
Foreword	2	Préambule	2
Introduction	4	Introduction	4
Purpose of instrumentation	5	Objectifs de l'auscultation	5
Planning instrumentation systems ...	6	Conception du dispositif instrumental.	6
Types of instruments	8	Types d'appareils	8
Factors influencing accuracy of measurements	10	Facteurs altérant la précision des mesures	10
Reliability of measurements	11	Validité des résultats de mesures	11
Representative dams containing instrumentation	13	Exemples de barrages équipés en moyens de mesures	12
Selected bibliography on instrumentation	16	Bibliographie concernant l'instrumentation	16
Appendix figures 1-26	19	Appendice : figures 1 à 26	19

FOREWORD

At the Lausanne, Switzerland, meeting of the ICOLD Committee on *Observations on Dams and Models*, in September 1965, the Committee member Mr. George E. Bertram, Chairman of the USCOLD Measurements Committee, was asked to prepare a brief preliminary report on "Instrumentation in Earth and Rockfill Dams".

Promptly prepared by Mr. Bertram, as is his custom in addition to great experience, the report has been distributed to all National Committees and discussed at the Rio de Janeiro, Brazil, meeting of the Committee in June 1966, where Mr. Bertram was invited to enlarge upon the subject in a further report, taking into account the information and suggestions to be furnished by the various countries. The second draft report was comprehensively examined at the Istanbul, Turkey, Committee meeting in August 1967, and Mr. Bertram was asked to submit the final draft comprising the new comments that have been made. This final draft, distributed by the ICOLD Central Office to all National Committees, was then approved by the Committee at its meeting in Stavanger, Norway, in June 1968.

The report presented herein is the result of all the above elaborations and additions. The title has been modified to indicate the general character of the information it contains. The term "Instrumentation" has been retained, however, not only because of its association with the draft report but also because it connotes the precise character of the observations and measurements needed to monitor the performance of dams for the duration of their functional existence. The examples of instrumentation given in the report have been selected from high dams because these are the structures in greatest need of observations and measurements to supplement their design studies. The text, then, is excellent in every respect and up to date.

The Committee's and my personal sincere thanks are due to Mr. Bertram, the USCOLD Measurements Committee and all the members and National Committees who, through information and comment, helped to bring the report about. A hearty gratitude is

PRÉAMBULE

Au cours de la réunion du Comité technique de la C.I.G.B. pour l'« *Observation des barrages et modèles* », tenue à Lausanne (Suisse) en septembre 1965, il a été demandé à M. Bertram, membre de ce Comité et Président du Comité « Mesures » de l'U.S.C.O.L.D., de préparer un bref rapport préliminaire sur le sujet suivant : « L'auscultation des barrages en terre et en enrochements ».

Avec sa diligence habituelle, jointe à une grande expérience, M. Bertram a préparé un texte qui a été distribué à tous les Comités nationaux et discuté à la réunion du Comité à Rio de Janeiro (Brésil), en juin 1966. A cette occasion, il a été suggéré à M. Bertram de développer le sujet en tenant compte des remarques et suggestions présentées par différents pays. Cette deuxième rédaction a été examinée avec intérêt à la réunion du Comité à Istanbul (Turquie), en août 1967, et il fut alors demandé à M. Bertram de diffuser une dernière rédaction incluant les plus récents commentaires. Ce texte définitif a été distribué par le Bureau Central de la C.I.G.B. à tous les Comités nationaux, puis approuvé par le Comité technique dans sa réunion de Stavanger (Norvège), en juin 1968.

Le rapport présenté ici est l'aboutissement de ces rédactions et additions successives. Le titre en a été modifié de façon à faire ressortir le caractère général des informations apportées. Le terme « instrumentation » a été toutefois retenu, non seulement parce qu'il correspond au projet initial, mais aussi parce qu'il met l'accent sur le caractère très précis des observations et des mesures nécessaires au contrôle des performances des barrages tout au long de leur exploitation. Les exemples d'appareillages donnés dans le rapport ont été pris sur des grands ouvrages, parce que ce sont eux qui exigent le maximum d'observations et de mesures en complément des calculs du projet. Le texte, par ailleurs, est excellent à tous points de vue et tout à fait à jour dans les conceptions exposées.

Le Comité et moi-même adressons nos très sincères remerciements à M. Bertram, au Comité « Mesures » de l'U.S.C.O.L.D. ainsi qu'aux Comités nationaux et à leurs membres qui, par leurs commentaires et leurs informations, ont aidé à mener ce

also given to the Committee member from France, Mr. G. Willm, for a fine translation of the report into the French language.

It is hoped that the report, presenting the information and knowledge available at present on this all-important subject, will meet with general approval and consent.

Prof. Guido OBERTI,
Chairman
ICOLD Committee on Observations
on Dams and Models ()*
(Italy)

(*) At present the Committee consists of the Chairman and ten members representing the National Committees of the following ten countries : Australia (H. H. Thomas), Canada (C. F. Ripley), France (G. Willm), Great Britain (S. R. Sparkes), Japan (Fumio Ishii), Portugal (M. Rocha), Spain (J. Teran Pelaez), Switzerland (C. Schum), U.S.A. (G. E. Bertram) and U.S.S.R. (V. Semenkov).

travail à bonne fin. Nous remercions également M. G. Willm, membre du Comité Français, pour son excellente traduction de ce rapport en langue française.

Nous souhaitons que ce document, qui apporte sur un très important sujet des informations et des renseignements des plus utiles, trouve auprès des intéressés le meilleur accueil et soit l'objet d'une approbation générale.

Professeur Guido OBERTI,
Président du Comité
sur l'Observation des Barrages
et Modèles de la C.I.G.B. ()*
(Italie)

(*) Actuellement le Comité est constitué du Président et de dix membres représentant les Comités nationaux des dix pays suivants : Australie (H. H. Thomas), Canada (C. F. Ripley), France (G. Willm), Grande-Bretagne (S. R. Sparkes), Japon (Fumio Ishii), Portugal (M. Rocha), Espagne (J. Toran Pelaez), Suisse (C. Schum), U.S.A. (G. E. Bertram) et Russie (V. Semenkov).

GENERAL CONSIDERATIONS APPLICABLE TO INSTRUMENTATION FOR EARTH AND ROCKFILL DAMS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'AUSCULTATION DES BARRAGES EN TERRE ET EN ENROCHEMENTS

INTRODUCTION

Instruments for measuring movements and pore pressures in earth and rockfill dams have been used for many years. Early piezometers were of the open tube type and were installed to measure the development of the phreatic line in various zones of an embankment. Measurements were also made of the rate of seepage. The first settlement gages were plates usually located at the foundation level. Determination by soundings of the elevation of the plate during and after construction of the fill permitted computation of the rate of consolidation and of the total settlement of the fill and the foundation. Useful information was provided by these simple instruments at a time when theoretical studies of seepage flow and consolidation were being started and when compaction control tests and field compaction equipment were beginning to be used. Early dams were of low to moderate height. Therefore, many problems that have come to be associated with high dams had not yet been encountered.

With the construction of increasingly higher dams, the use of instrumentation has greatly increased because of the need for additional design information. Moreover, recent dam failures in various parts of the world have greatly stimulated interest in measurements as a means for ensuring the safety of embankment dams during operation.

The aims of this report are to :

1) outline reasons for installing instruments;

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années on utilise des appareils pour mesurer les mouvements et la pression interstitielle dans les barrages en terre et en enrochement. Les premiers piézomètres étaient des tubes ouverts et étaient installés de façon à mesurer l'altitude de la nappe phréatique en différents points de la recharge. On faisait également des mesures du taux de percolation. Les premières jauges de tassement étaient des plateaux généralement situés au niveau des fondations. La détermination par sondage de l'altitude du plateau pendant et après la construction de la recharge permettait le calcul du taux de consolidation et la connaissance du tassement total de la recharge et des fondations. Ces simples instruments donnaient des informations pleines d'intérêt à un moment où était abordée l'étude théorique des débits de percolation et des phénomènes de consolidation et où l'on commençait à mettre en pratique les tests de compactage et à utiliser un matériel de chantier adapté à cette technique. Les premiers barrages n'étaient encore que d'une hauteur faible ou modérée; de ce fait, beaucoup de problèmes liés à cette caractéristique étaient encore inconnus.

Avec l'augmentation progressive de la hauteur des ouvrages, le besoin de recueillir des informations complémentaires contribua beaucoup à développer la pratique des mesures. En outre, des accidents survenus dans différentes parties du monde stimulèrent largement l'intérêt pour l'auscultation considérée comme un des moyens d'assurer la sécurité des digues en exploitation.

Les objectifs de ce rapport sont de :

1° Justifier la mise en œuvre de moyens de mesure;

2) describe basic consideration in planning an instrumentation system;

3) list the types of devices available;

4) examine the factors affecting the accuracy of various measurements, and

5) discuss the reliability of measurements. A representative group of dams in which instrumentation has been installed is included to serve as a guide to the types of devices that are being incorporated in earth and rockfill dams. A bibliography is also included to provide reference articles describing the types of instrument mentioned together with a description of the instrumentation for each high dam listed as having a significant installation of measuring equipment.

PURPOSE OF INSTRUMENTATION

Most instrumentation is installed to monitor the behavior of dams during construction as well as during subsequent reservoir operation. The specific applications of measurements are threefold and may be described as follows :

1. To provide information for a continuing check of the design assumptions so that modifications during the construction period may be made, if required, in the design and/or construction. Observations of pore water pressures in the embankment or foundation and of surface and internal movements often provide a guide to the permissible rate of fill placement.

2. To furnish data to determine if the completed structure will function as intended, and to provide a continuing surveillance of the structure to warn of any developments which may endanger its safety. A record of periodic instrument readings during the life of a project often indicates changes in internal conditions that warrant more detailed investigations. For example, a sudden increase in the rate of seepage may denote serious cracking within the core zone.

3. To obtain information for future design criteria for high dams. The solution of many important problems such as cracking

2° Présenter les éléments à considérer dans l'élaboration du projet d'auscultation;

3° Énumérer les différents moyens utilisables;

4° Analyser les causes d'altération de la précision des diverses mesures;

5° Discuter de la validité des résultats de mesures.

Une liste représentative de barrages choisis en raison de leur équipement en moyens d'auscultation pourra servir de guide dans le choix des différents types d'appareils susceptibles d'être incorporés dans une digue en terre ou en enrochement. Une bibliographie est également jointe; elle donne des références d'articles décrivant les différents types d'instruments mentionnés et les dispositions adoptées sur chacun des grands barrages cités en exemple.

OBJECTIFS DE L'AUSCULTATION

L'objectif de la plupart des moyens mis en œuvre est de renseigner sur le comportement du barrage aussi bien pendant sa construction qu'en période d'exploitation.

Les applications spécifiques des mesures sont de trois ordres :

1° Fournir les éléments d'une vérification permanente des hypothèses du projet, permettant, en cours de travaux si nécessaire, d'apporter des modifications soit au projet lui-même soit à son mode de réalisation; les observations sur les pressions interstitielles dans la recharge ou dans les fondations ainsi que celles relatives aux mouvements de surface ou internes peuvent souvent guider dans le choix des modalités de mise en place du remblai;

2° Apporter des données susceptibles d'indiquer si la structure, une fois terminée, se comportera comme prévu, et permettre sa surveillance continue afin de prévenir de toute évolution pouvant compromettre sa sécurité. Les graphiques des lectures périodiques des instruments durant la vie d'un ouvrage décèlent souvent des changements dans les conditions internes exigeant des investigations plus approfondies. C'est ainsi qu'une augmentation brusque du régime des fuites peut dénoter une grave fissuration du noyau;

3° Obtenir des informations utiles à l'établissement des critères de base des projets ultérieurs de grands barrages. Les solutions

within embankments, deformations of rock-fill under gravity loading and reservoir pressures, prediction of pore pressures in compacted core materials, seismic effects on overall stability, and proper compaction methods for coarse gravels and rockfill now seem to be capable of solution only through field observations on the dams themselves.

The value of theoretical analyses, which are progressing at an accelerating rate, is dependent upon detailed and reliable knowledge of the behavior of embankment dams both for construction and for operating conditions.

PLANNING INSTRUMENTATION SYSTEMS

Careful attention must be given to planning an instrumentation system to ensure that required information will be obtained, both during the construction period and the life of the structure. The requirements of the system and the procedures to be used for analyzing the observations should be formulated in detail and selection of the measuring devices and their location chosen to meet those requirements. As an aid in planning an appropriate system, several basic considerations are presented in the following paragraphs.

A) Types of Measurements.

Requirements for instrumentation depend on the type of information desired. Following is a list of the types of field measurements often needed to evaluate the performance of embankments :

1. Horizontal and vertical movements;
2. Strains in various directions;
3. Stresses on planes inclined in various directions;
4. Neutral (pore water) stresses during construction;
5. Piezometer observations;
6. Seepage measurements; through the core, the foundation, and the abutments, including percent of solids discharged;

à beaucoup de problèmes importants tels que les fissurations à l'intérieur des remblais, les déformations des enrochements sous l'effet de leur propre poids ou de la poussée hydrostatique, la prévision des pressions interstitielles dans le noyau en matériaux compactés, les effets des séismes sur la stabilité de l'ensemble, les méthodes de compactage les plus propres aux gros graviers et aux enrochements, ne paraissent pouvoir être obtenues qu'à partir d'observations *in situ*.

La validité des recherches théoriques, en développement rapide, exige une connaissance approfondie et précise du comportement des digues tant pendant la construction que dans les conditions d'exploitation.

CONCEPTION DU DISPOSITIF INSTRUMENTAL

Une très grande attention doit être portée à la conception du dispositif d'auscultation, afin qu'aussi bien pendant la période de construction que pendant la vie de la structure, les informations souhaitées puissent être effectivement recueillies. Les objectifs de l'auscultation et les procédures à mettre en œuvre pour l'analyse des observations doivent être exactement formulés, et le choix des moyens ainsi que leur localisation doivent répondre à ces besoins. Pour faciliter la définition du dispositif optimum, quelques considérations élémentaires sont évoquées ci-dessous.

A) Nature des mesures.

Le dispositif d'auscultation est défini en fonction du genre d'information souhaitée. On trouvera ci-dessous énumérés les différents domaines dans lesquels des mesures *in situ* sont généralement mises en œuvre pour connaître le comportement des remblais :

- 1° Mouvements verticaux et horizontaux;
- 2° Déformations dans différentes directions;
- 3° Contraintes dans des plans diversement orientés;
- 4° Pressions interstitielles durant la construction;
- 5° Observation des piézomètres;
- 6° Percolations à travers le noyau, les fondations et les appuis, y compris la proportion de matières solides en suspension;

7. Earthquake effects. These data should include, as a minimum, the three components of transient acceleration and the resulting permanent displacements at different elevations on the embankment.

B) Special Considerations.

The more important considerations associated with the design and performance of instrumentation are :

1. *Personnel.* — Success of an instrumentation system depends vitally on the experience of the men who plan the system as well as on the men who carry out the installation. All too often planning and installation of instrumentation is left to inexperienced personnel. The installation should be made under the constant surveillance of a qualified responsible individual.

2. *Risk of damage during construction.* — During construction instruments may be damaged or destroyed by the construction operations. Fortunately there is growing awareness by contractors of the necessity to protect vital instrumentation from damage. It is also necessary that the equipment be rugged enough to withstand without damage handling at the time of installation, which is often made under severe conditions. Stronger protective clauses in Contract Specifications can serve to enhance that awareness.

3. *Severe environment.* — Certain instruments must be buried underground, quite often below the water table, yet must function for an indefinite period of time without possibility of repair or replacement.

4. *Extraneous influences.* — Important long term trends are often overshadowed by other effects such as temperature variations, changes in pool elevations, and random errors in measurements involving small changes.

5. *Evaluation of data.* — Data must be critically evaluated, bulky records must be summarized, erroneous readings rejected, and judgment exercised in interpretation. Graphical presentation of data must be simple and readily understood.

7° Effets des tremblements de terre : ces données doivent comporter au minimum les trois composantes des accélérations et le déplacement résultant permanent du remblai à plusieurs cotes.

B) Considérations particulières.

Les principales contingences qui conditionnent le choix des instruments et leurs performances sont :

1° *Le personnel.* — L'efficacité d'un dispositif de mesures dépend au premier chef de l'expérience tant des hommes qui l'ont projeté que de ceux qui l'ont installé. Trop souvent, la conception du dispositif d'auscultation, aussi bien que sa mise en place, sont laissées aux soins d'un personnel inexpérimenté. Une telle installation devrait être placée sous la surveillance constante d'un responsable désigné.

2° *Les risques de dommages durant la construction.* — Au cours de cette période, l'exécution même des travaux peut être une cause d'endommagement ou de destruction des appareils de mesure. Heureusement, les entrepreneurs prennent de plus en plus conscience de l'importance de cet appareillage et de la nécessité de le protéger de tout dommage. Dans cet ordre d'idées, des clauses sévères peuvent avantageusement figurer au contrat. Il est également nécessaire que l'équipement soit suffisamment robuste pour supporter sans dommages les manipulations qui interviennent au cours de la mise en place dans des conditions souvent sévères.

3° *Des conditions d'ambiance sévères.* — Certains instruments doivent être enterrés, et bien souvent à une cote inférieure à celle de la nappe; leur fonctionnement est cependant appelé à se poursuivre pendant un temps non limité, toute possibilité de réparation ou de remplacement étant exclue.

4° *Les influences extérieures.* — De graves tendances évolutives à long terme sont souvent cachées par des phénomènes parasites : variations de la température ou du niveau de la retenue, erreurs accidentelles ou dérives dans les mesures, etc.

5° *L'examen des données.* — Les données fournies par les appareils doivent être analysées dans un esprit critique, les enregistrements encombrants doivent être condensés, les mesures notoirement aberrantes rejetées, et une réflexion approfondie doit présider aux interprétations. La présen-

6. *Reference datum.* — Most measurements are relative between two points. Unless one point is stable, the absolute movement cannot be established. In the case of a large embankment and reservoir even bedrock will deform elastically under the applied loads. Reference datums should be outside the zone of influence of the load.

C) Basic Requirements.

The types of desired measurements coupled with the special considerations listed above lead to the following requirements for instrumentation :

1. It must be rugged, reliable, and stable;
2. It must be simple in design, with a minimum of moving parts, and preferably nonelectrical;
3. It must be easily repaired and maintained if accessible. This is possible if a probe is used which can be removed, but may not be feasible for a buried unit;
4. The data must be easy to obtain with a minimum of effort. Data gathering will extend over many years and higher initial investment to reduce later costs is worthwhile.

TYPES OF INSTRUMENTS

Representative types of instruments which have been widely used for measuring pore pressures and movements of various kinds in embankment dams are listed in the following tabulation by their usual designation, with the country of origin given in parenthesis. Items which are usually manufactured locally, such as Surface Reference Monuments, are designated by the word "local" in parenthesis.

This list is intended to be representative of the various types which are available; it is recognized that satisfactory equipment is available from many other manufacturers.

tation graphique des données doit être simple et d'une compréhension immédiate.

6° *Les repères de référence.* — La plupart des mesures de déplacement n'ont qu'un caractère relatif. C'est seulement par rapport à un point fixe que l'on peut connaître la valeur absolue d'un mouvement. Dans le cas d'un important remblai et d'un grand réservoir, le rocher de fondation lui-même peut se déformer élastiquement sous les charges qui lui sont appliquées. Les références sont donc à situer en dehors de la zone d'influence des contraintes.

C) Spécifications fondamentales.

Les particularités propres aux mesures à réaliser, jointes aux considérations ci-dessus conduisent en ce qui concerne la réalisation de l'appareillage au respect des caractéristiques suivantes :

- 1° Il doit être robuste, sûr et fidèle;
- 2° Il doit être simple dans son principe, comporter le minimum de pièces mobiles, et de préférence non électrique;
- 3° Il doit pouvoir être facilement réparé et entretenu s'il est accessible : cette condition est satisfaite dans le cas d'une sonde amovible, mais non d'un instrument enterré;
- 4° Les lectures doivent être faciles et leur exécution ne doit nécessiter que le minimum de contraintes. La collecte des données doit pouvoir se poursuivre pendant de nombreuses années, une majoration de l'investissement initial peut se traduire par des économies ultérieures.

DIFFÉRENTS TYPES D'APPAREILS

Les types d'instruments les plus largement utilisés dans les digues pour la mesure des pressions interstitielles et des différentes sortes de déplacement sont répertoriés dans la liste ci-dessous sous leur nom habituel, avec entre parenthèses l'indication de leur pays d'origine. Ceux qui sont de fabrication banale, tels que les repères topographiques, portent la mention (local).

Cette liste ne prétend donner qu'un échantillonnage des différents types d'appareils utilisables; il est bien certain que beaucoup d'appareils fabriqués par de nombreux autres constructeurs peuvent également donner toute satisfaction.

A) GROUNDWATER AND PORE PRESSURE :

1. *Open Standpipe :*
 - a) Open pipe, or pipe with wellpoint.
 - b) Casagrande (U.S.A.).
 - c) Geonor (Norway).
2. *Hydraulic Piezometers :*
 - a) U.S. Bureau of Reclamation (U.S.A.).
 - b) Bishop (England).
 - c) Gloetzl (West Germany); also used as a pneumatic piezometer.
3. *Pneumatic Diaphragm Piezometers :*
 - a) Warlam (U.S.A.).
 - b) Swedish Geotechnical Institute (Sweden).
 - c) Hall (U.S.A.).
 - d) C.F.E. (Mexico).
4. *Electrical Diaphragm Piezometers :*
 - a) Carlson (U.S.A.).
 - b) Vuorinen (Finland).
 - c) Plantema (Netherlands).
5. *Vibrating Wire Diaphragm Piezometers :*
 - a) Maihak (West Germany).
 - b) Telemac (France).
 - c) Building Research Station (England).
 - d) Galileo (Italy).

B) MOVEMENTS :

1. *Vertical Movement Devices :*
 - a) Surface Reference Monuments (Local).
 - b) U.S. Bureau of Reclamation Cross-arm (U.S.A.).
 - c) Idel (West Germany).
 - d) Wilson Slope Indicator Casing (U.S.A.).
 - e) Telemac Water Level (Austria, France).
2. *Horizontal Movement Devices :*
 - a) Surface Reference Monuments (Local).
 - b) Long-Gage Wire Extensometers (U.S.A.).
 - c) Idel (West Germany).
 - d) Building Research Station (England).

A) NAPPE PHRÉATIQUE ET PRESSION INTERSTITIELLE :

1. *Tube piézométrique ouvert :*
 - a) Tube ouvert, ou tube à pression ponctuelle.
 - b) Casagrande (U.S.A.).
 - c) Geonor (Norvège).
2. *Capsules piézométriques hydrauliques :*
 - a) U.S. Bureau of Reclamation (U.S.A.).
 - b) Bishop (Grande-Bretagne).
 - c) Gloetzl (Allemagne de l'Ouest); utilisable également comme piézomètre pneumatique.
3. *Capsules piézométriques à diaphragme pneumatique :*
 - a) Warlam (U.S.A.).
 - b) Institut Géotechnique Suédois (Suède).
 - c) Hall (U.S.A.).
 - d) C.F.E. (Mexique).
4. *Capsules piézométriques à diaphragme électrique :*
 - a) Carlson (U.S.A.).
 - b) Vuorinen (Finlande).
 - c) Plantema (Pays-Bas).
5. *Piezomètres à diaphragme à corde vibrante :*
 - a) Maihak (Allemagne de l'Ouest).
 - b) Telemac (France).
 - c) Building Research Station (Angleterre).
 - d) Galileo (Italie).

B) MOUVEMENTS :

1. *Mouvements verticaux :*
 - a) Repères topographiques (local).
 - b) U.S. Bureau of Reclamation Cross-arm (U.S.A.).
 - c) Idel (Allemagne de l'Ouest).
 - d) Wilson Slope Indicator Casing (U.S.A.).
 - e) Niveau d'eau Telemac (Autriche, France).
2. *Mouvements horizontaux :*
 - a) Repères topographiques (local).
 - b) Long-Gage Wire Extensometers (U.S.A.).
 - c) Idel (Allemagne de l'Ouest).
 - d) Building Research Station (Grande-Bretagne).

3. *Inclinometers* :

- a) Wilson Slope Indicator (U.S.A.).
- b) Eastman Slope Indicator (West Germany).
- c) Maihak Inclinometer (West Germany).
- d) Swedish Geotechnical Institute Indicator (Sweden).
- e) Telemac Inclinometer (France).

4. *Strain Devices* :

- a) Linear Extensometers (Mexico).
- b) Linear Extensometers (B.R.S., England).

C) SEISMIC MOVEMENT DEVICES :

- a) U.S. Coast and Geodetic Survey Accelerometer (U.S.A.).
- b) Strong-Motion Seismographs (Japan).
- c) Seismoscopes (Mexico).
- d) SMAC Accelerometer (U.S.A.).
- e) Telemac Accelerometer (France).

D) PRESSURE CELLS :

- a) Carlson (U.S.A.).
- b) Corps of Engineers-WES (U.S.A.).
- c) Gloetzl (West Germany).
- d) Building Research Station (England).

3. *Inclinomètres* :

- a) Indicateur de pente Wilson (U.S.A.).
- b) Indicateur de pente Eastman (Allemagne de l'Ouest).
- c) Maihak Inclinometer (Allemagne de l'Ouest).
- d) Indicateur de l'Institut Géotechnique Suédois (Suède).
- e) Inclinomètre Telemac (France).

4. *Déformations unitaires* :

- a) Linear Extensometers (Mexique).
- b) Linear Extensometers (B.R.S., Grande-Bretagne).

C) MOUVEMENTS SISMIQUES :

- a) U.S. Coast and Geodetic Survey Accelerometer (U.S.A.).
- b) Strong-Motion Seismographs (Japan).
- c) Seismoscopes (Mexique).
- d) SMAC Accelerometer (U.S.A.).
- e) Accéléromètre Telemac (France).

D) CELLULES DE PRESSION :

- a) Carlson (U.S.A.).
- b) Corps of Engineers-Wes (U.S.A.).
- c) Gloetzl (Allemagne de l'Ouest).
- d) Building Research Station (Grande-Bretagne).

FACTORS INFLUENCING ACCURACY OF MEASUREMENTS

The degree of accuracy obtained from measurements depends not only on the skill of the personnel making the measurements but also on the type of instrumentation. For example, obtaining measurements from surface monuments may be a simple procedure subject to minor corrections associated with the stretch of the measuring tape, or temperature variations provided that the monuments are so designed as to avoid errors due to seasonal ground surface movements. For dams with a curved crest, surveying methods must also be used and errors inherent in triangulation enter into the measurements. In some instances the location of reliable bench marks located in areas free from strains requires leveling over considerable distances to the location of surface settlement monuments which increases the possibility of an error in measurement.

FACTEURS SUSCEPTIBLES D'ALTÉRER LA PRÉCISION DES MESURES

La précision des mesures ne dépend pas uniquement du savoir-faire du personnel qui en a la charge, mais aussi de la méthode employée. Par exemple, une mesure de longueur entre repères peut n'être qu'une opération simple justifiable de corrections mineures liées à la tension du ruban de mesure ou à la température, étant entendu que les piliers eux-mêmes sont réalisés de façon à éliminer les erreurs liées aux mouvements saisonniers de la surface du sol. Cependant, pour les barrages comportant une crête arquée, il faut mettre en œuvre également des méthodes topographiques faisant intervenir les erreurs propres à la triangulation. Dans quelques cas la localisation précise de repères topographiques peut exiger un très long cheminement jusqu'aux stations de base fondées hors de l'action des contraintes, d'où augmentation des probabilités d'erreurs.

Open pipe piezometers and vertical settlement devices of the crossarm type are subject to the same limitations as simple measurements between surface markers; namely tape stretch and temperature corrections. Because pore pressure readings are desired at points which cannot be reached by vertical standpipe installations, hydraulic or air systems are used with pore pressure gages. The accuracy of such systems is governed by the limitations of the particular pressure gage employed in the system. This same comment applies to other types of pressure cells employing gages as the measuring device.

Electrical gages have the disadvantage of introducing errors due to unknown strains in the cables. This is particularly pertinent for installations in high dams in which long cables are necessary. Vibrating wire instruments, of course, are unaffected by this limitation. Long cables can also influence the accuracy of induction coil devices due to the increased friction between the tube and cable over appreciable distances. Use of a separate steel tape for length measurements improves the accuracy of such devices.

It is recommended that all readings be made to the greatest degree of accuracy consistent with the particular instrumentation system. Although, for purposes of construction control, extreme accuracy is not required in some measurements, the later use of the data for extrapolation to anticipated conditions either during operation or for future design studies or comparison with other dams warrants obtaining all information to the maximum practical degree of precision.

RELIABILITY OF MEASUREMENTS

The reliability of measurements depends not only on the type of instrument and the care used in making individual measurements, but also on the number of measurements of the same type in a similar relative location within the embankment. A single unrelated measurement is of little practical value even if the reading obtained appears

Les piézomètres à tubes ouverts et les éléments verticaux des appareils du type « crossarm » nécessitent les mêmes précautions que de simples chaînages entre repères de surface, c'est-à-dire des corrections de tension du ruban et de température. Lorsque l'on souhaite connaître les valeurs de la pression interstitielle en des points inaccessibles par tubes verticaux, on utilise des transmissions hydrauliques ou pneumatiques associées à des capteurs de pressions interstitielles. La précision de tels systèmes est conditionnée par les limitations du capteur de pression particulier utilisé en l'occurrence. La même remarque s'applique aux cellules de pression à jauges.

Les jauges électriques ont l'inconvénient d'introduire certaines erreurs dues à la connaissance imparfaite des caractéristiques des câbles de liaison. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de grands barrages, nécessitant l'emploi de grandes longueurs de câbles. Cependant, les instruments à corde vibrante sont exempts de cet inconvénient. Une grande longueur de câbles peut également altérer la précision des radio-sondes du fait de l'augmentation des frottements entre le tube guide et le câble de manœuvre sur des grandes distances; l'emploi d'un ruban indépendant pour la mesure des longueurs améliore la précision de tels dispositifs.

Il est recommandé de faire toutes les lectures avec le maximum de précision permis par l'appareillage considéré. Bien que pour les simples besoins des contrôles en cours de construction, les mesures n'exigent pas toutes une extrême précision, le fait qu'elles sont destinées à être utilisées ultérieurement tant pour juger des conditions d'exploitation que dans l'optique de projets futurs, ou de comparaisons avec d'autres barrages, justifie d'observer la plus grande rigueur dans la collecte de la totalité des informations.

VALIDITÉ DES RÉSULTATS DE MESURES

La validité des mesures ne dépend pas seulement des qualités de l'instrument et du soin apporté à l'exécution de chaque mesure en particulier, mais aussi du nombre de mesures de même nature, intéressant une même partie de remblai.

Une mesure isolée est de peu d'intérêt pratique même si son résultat apparaît

to be reasonable, as it may not reflect the pressure or strain for the particular situation. If measurements are available from several instruments taken under the same governing conditions, useful average data can be obtained and erratic values discounted. It is important that instruments which are performing erratically be identified early in the measurement program so that they can be replaced if such action is feasible. However, in the case of pressure cells, erratic readings are more likely to be observed under low pressures because of arching within the fill. This arching within the fill is not to be confused with localized arching due to faulty installation.

In addition to providing enough instruments of a particular type to permit obtaining reliable measurements, it is often possible to obtain verification of measurements by locating instruments so that the lines of measurement intersect. For example, a vertical settlement device can be located to intersect a horizontal movement device of the type in which vertical settlement can be determined by water level measurements. Thus, measurements for the settlement of the point of intersection may be checked by two different methods. Care should also be taken to obtain supplementary measurements which will be useful in interpreting data from a particular type of instrument. Piezometers should, for example, be located adjacent to pressure cells in order that pore pressure corrections can be made for cell readings. For measurements which are vital for control or safety of dam, at least two different types of instruments should be used, for example, two different types of piezometers.

In conclusion, it should be noted that greater reliability over a long period of time can be obtained from those instruments for which measurements can be made from the surface by means of sounding devices or probes. Instruments which are completely buried in the embankment can be expected to have a shorter useful life.

logique, car elle ne peut donner une image fidèle de la pression ou de la déformation dans la situation considérée. Si l'on dispose par contre de plusieurs mesures provenant d'appareils différents mais effectuées dans les mêmes conditions, on peut obtenir une moyenne plus sûre et éliminer les données aberrantes. Il est important de pouvoir identifier précocement les appareils qui donnent des indications erronées de façon à pouvoir si possible les remplacer. Cependant, dans le cas particulier des cellules de pressions intergranulaires, les lectures aberrantes sont plutôt observées en présence de pressions faibles; elles seraient dues à l'apparition d'arcs de décharge dans le remblai. Ce phénomène ne doit toutefois pas être confondu avec celui qui peut résulter d'une mise en place incorrecte.

En plus de l'intérêt de disposer de suffisamment d'instruments d'un type donné en vue d'augmenter la validité des mesures, il est souvent possible de se ménager la possibilité d'un contrôle des résultats en disposant les instruments de façon à autoriser des recoupements. Par exemple, l'emplacement d'un dispositif de contrôle de tassements peut être choisi de façon à permettre des recoupements avec une installation de contrôle de mouvements horizontaux d'un modèle qui comporte un contrôle par niveau d'eau des tassements verticaux. Ainsi l'emploi de deux méthodes différentes permet un recoupement des mesures de tassements au point d'intersection. Il faut prendre soin également de recueillir des données en surnombre, en vue de faciliter l'interprétation des résultats relatifs à un type donné d'instrument. C'est ainsi par exemple que des piézomètres devraient être installés à proximité des cellules de pression de façon à pouvoir appliquer à celles-ci des corrections de pression interstitielle. Lorsque les mesures présentent un caractère primordial dans le domaine du contrôle ou de la sécurité du barrage, il serait justifié d'utiliser au moins deux types d'instruments, par exemple deux types différents de piézomètres.

Enfin, il faut retenir que les instruments consultables depuis la surface par sondage assurent la meilleure qualité de mesures sur une longue période. Il faut compter avec la limitation de la vie utile des appareils complètement enterrés.

REPRESENTATIVE DAMS CONTAINING INSTRUMENTATION

The following list of representative earth and rockfill dams, which have been instrumented to obtain data on movements and pore pressures, is included to illustrate the use and layout of instruments for various purposes. The types of instruments in each dam are listed following the name, height, location, and owner of the project.

- A) CARTERS DAM, 134 m, GEORGIA, U.S.A., CORPS OF ENGINEERS (*Figs. 1 and 2*).
- Horizontal and Vertical Movement Devices.
 - Pore Pressure Gages.
 - Slope Indicators.
 - Surface Reference Monuments.
 - Total Pressure Gages.
- B) BLOWERING DAM, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, SNOWY MOUNTAINS HYDRO-ELECTRIC AUTHORITY (*Figs. 3 and 4*).
- Electric Piezometers.
 - Hydraulic Piezometers.
 - Hydrostatic Settlement Gages.
 - Horizontal Movement Gages.
 - Settlement Gages.
 - Surface Reference Monuments.
- C) GEEHI DAM, 91 m, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, SNOWY MOUNTAINS HYDRO-ELECTRIC AUTHORITY (*Figs. 5 and 6*).
- Foundation Settlement Gages.
 - Horizontal Movement Devices.
 - Hydrostatic Settlement Gages.
 - Piezometers.
 - Surface Reference Monuments.
 - Vibrating Wire Piezometers.
- D) MATTMARK DAM, 116 m, VALAIS, SWITZERLAND, KRAFTWERKE MATTMARK (*Figs. 7 and 8*).
- Electric Pore Pressure Gages.
 - Earth Pressure Cells.
 - Hydraulic Pore Pressure Gages.

EXEMPLES TYPIQUES DE BARRAGES ÉQUIPÉS EN MOYENS DE MESURES

On trouvera ci-dessous, pour illustrer les modalités d'emploi et d'implantation des instruments spécifiques, une liste de barrages en terre et en enrochement bien équipés en appareils de contrôle des mouvements et des pressions interstitielles. La mention du type d'instrument mis en place dans chaque barrage est donnée à la suite des indications du nom de l'ouvrage, de sa hauteur, de sa localisation géographique et du propriétaire de l'aménagement.

- A) CARTERS DAM, 134 m, GEORGIA, U.S.A., CORPS OF ENGINEERS (*fig. 1 et 2*).
- Appareillage pour le contrôle des mouvements verticaux et horizontaux.
 - Jauges de mesure de pression interstitielle.
 - Indicateurs de pente.
 - Repères topographiques.
 - Jauges de pression totale.
- B) BLOWERING DAM, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, SNOWY MOUNTAINS HYDRO-ELECTRIC AUTHORITY (*fig. 3 et 4*).
- Piézomètres électriques.
 - Piézomètres hydrauliques.
 - Jauges hydrostatiques de tassement.
 - Jauges de mouvements horizontaux.
 - Jauges de tassements.
 - Repères topographiques.
- C) GEEHI DAM, 91 m, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, SNOWY MOUNTAINS HYDRO-ELECTRIC AUTHORITY (*fig. 5 et 6*).
- Jauges de tassement des fondations.
 - Appareillage de contrôle de mouvements horizontaux.
 - Jauges hydrostatiques de tassement.
 - Piézomètres.
 - Repères topographiques.
 - Piézomètres à corde vibrante.
- D) BARRAGE DE MATTMARK, 116 m, VALAIS, SWITZERLAND, KRAFTWERKE MATTMARK (*fig. 7 et 8*).
- Jauges électriques de pression interstitielle.
 - Cellules de pression intergranulaire.
 - Jauges hydrauliques de pression interstitielle.

- Open Pipe Piezometers.
 - Surface Reference Monuments.
 - Recording Turbidity Meter for Seepage.
 - Vertical Settlement Gages. »
- E) MIRA DAM, PORTUGAL (*Figs. 9 and 10*).
- Piezometers.
 - Surface Reference Monuments.
 - Vertical Settlement Devices.
 - Vibrating Wire Piezometers.
- F) MONT-CENIS DAM, 120 m, SAVOY, FRANCE, ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (*Figs. 11 and 12*).
- Topographical reference points.
 - Pore Pressure Cells.
 - Electric Pore Pressure Cells.
 - Temperature Gages.
- G) OROVILLE DAM, 235 m, CALIFORNIA, U.S.A., CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (*Figs. 13 through 18*).
- Horizontal Movement.
 - Piezometers.
 - Stress Meters.
 - Surface Reference Monuments.
 - Vertical Movement.
- H) SCAMMONDON DAM, 70 m, YORKSHIRE, ENGLAND, HUDDERSFIELD COUNTY BOROUGH COUNCIL (*Figs. 19 and 20*).
- Horizontal, Vertical, and Inclined movement devices.
 - Water Settlement Gages.
 - Surface Monuments.
 - Inverted Pendulum.
 - Mekometer (distance measuring system).
 - Vertical Water over flow strain Gages.
 - Horizontal Electric strain gages.
 - Total Pressure Gages.
 - Hydraulic Piezometers.
- I) TRINITY DAM, 163 m, CALIFORNIA, U.S.A., BUREAU OF RECLAMATION (*Figs. 21 and 22*).
- Horizontal Movement.
- Piézomètres à tube ouvert.
 - Repères topographiques.
 - Enregistreurs de turbidité des eaux de fuite.
 - Jauges de tassement vertical.
- E) BARRAGE DE MIRA, PORTUGAL (*fig. 9 et 10*).
- Piézomètres.
 - Repères de surface.
 - Appareillage pour les tassements verticaux.
 - Piézomètres à corde vibrante.
- F) BARRAGE DU MONT-CENIS, 120 m, FRANCE (SAVOIE), ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (*fig. 11 et 12*).
- Repères topographiques.
 - Cellules hydrauliques de pression interstitielle.
 - Capteurs électriques de pression interstitielle.
 - Jauges électriques de température.
- G) OROVILLE DAM, 235 m, CALIFORNIA (U.S.A.), CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (*fig. 13 à 18*).
- Mouvements horizontaux.
 - Piézomètres.
 - Déformations unitaires.
 - Repères topographiques.
 - Mouvements verticaux.
- H) BARRAGE DE SCAMMONDON, 70 m, GRANDE-BRETAGNE (YORKSHIRE), HUDDERSFIELD COUNTY BOROUGH COUNCIL (*fig. 19 et 20*).
- Contrôle des mouvements dans des directions verticales, horizontales et inclinées.
 - Jauges hydrauliques et contrôle de tassement.
 - Repères topographiques.
 - Pendule inversé.
 - Mékomètre (mesure de longueurs par faisceau modulé).
 - Contrôle de déformations verticales par dispositif à déversoir hydraulique.
 - Jauges de pression totale.
 - Piézomètres hydrauliques.
- I) TRINITY DAM, 163 m, CALIFORNIA (U.S.A.), BUREAU OF RECLAMATION (*fig. 21 et 22*).
- Mouvements horizontaux.

- Piezometers.
 - Surface Reference Monuments.
 - Vertical Movement.
- I) UPPER YARRA DAM, 89 m, VICTORIA, AUSTRALIA, MELBOURNE AND METROPOLITAN BOARD OF WORKS (*Figs. 23 and 24*).
- Piezometers.
 - Settlement Gages.
- J) BARRAGE DE UPPER YARRA, 89 m, VICTORIA (AUSTRALIA), MELBOURNE AND METROPOLITAN BOARD OF WORKS (*fig. 23 et 24*).
- Piézomètres.
 - Jauges de tassement.
- K) YANASE DAM, 54 m, EHIME, JAPAN, EHIME PREFECTURE (*Figs. 25 and 26*).
- Settlement Devices.
 - Seismographs.
- L) BARRAGE DE YANASE, 54 m, EHIME (JAPON), EHIME PREFECTURE (*fig. 25 et 26*).
- Appareillage de contrôle de tassement.
 - Sismographes.

SELECTED BIBLIOGRAPHY ON INSTRUMENTATION

A) GROUNDWATER AND PORE PRESSURE (NAPPE PHRÉATIQUE ET PRESSION INTERSTITIELLE).

1. *Open Standpipe : tube ouvert (tube piézométrique)* :
 - a) Open pipe, or pipe with wellpoint.
TURNBULL, W. J. and MANSUR, C. I. — Construction and Maintenance of the Underseepage Control Measures. — (*Transactions American Society of Civil Engineers, Vol. 126, 1961*).
 - b) Casagrande (U.S.A.).
CASAGRANDE, A. — Soil Mechanics in the Design and Construction of the Logan Airport. — (*Journal, Boston Society of Civil Engineers, Vol. 36, No. 2, April 1949*). Also see, "Contribution to Soil Mechanics", 1941-1953, B.S.C.E.).
 - c) Geonor (Norway).
BJERRUM, L. *et al.* — Measuring Instruments for Struttred Excavations. — (*Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings 4210, January 1965*).
2. *Hydraulic Piezometers (piézomètres hydrauliques)* :
 - a) U.S. Bureau of Reclamation (U.S.A.).
U.S. Bureau of Reclamation. — Instructions for Installing and Reading Piezometers in Earth Dams. — (*USBR Designation E-27, Appendix, Earth Manual, 1963*).
 - b) Bishop (England).
BISHOP, A. W. *et al.* — Developments in Measurements and Interpretation of Pore Pressure in Earth Dams. — (*Eighth Congress on Large Dams, Vol. II, 1964, 47-72*).
 - c) Gloetzl (West Germany).
SCHOBER, W. — Large Scale Application of Gloetzl Type Hydraulic Stress Cells at the Gepatsch Rockfill Dam, Austria. — (*Report I, Baumesstechnik, 1965*).
3. *Pneumatic Diaphragm Piezometers (piézomètres à diaphragme pneumatique)* :
 - a) Warlam (U.S.A.).
WARLAM, A. A. and THOMAS, E. W. — Measurement of Hydrostatic Uplift Pressure on Spillway Weir with Air Piezometers. — (*Instruments and Apparatus for Soil and Rock Mechanics, American Society for Testing and Materials STP 392, 1965, pp. 143-151*).
 - b) Swedish Geotechnical Institute (Sweden).
KALLSTENIUS, T. and WALLGREN, A. — Pore Pressure Measurement in Field Investigations. — (*Proceedings, Royal Swedish Geotechnical Institute, No. 13, 1956*).
 - c) Hall (U.S.A.).
 - d) CFE (Mexico).
(*Engineering News Record, Vol. 172, No. 7, 1964*).
4. *Electrical Diaphragm Piezometers (piézomètres à diaphragme électrique)* :
 - a) Carlson (U.S.A.).
RAPHAEL, J. M. and CARLSON, R. W. — Measurement of Structural Action in Dams. — (*James J. Gillick & Company, Berkeley, California, 1956*).
 - b) Vuorinen (Finland).
 - (1) VUORINEN, J. — Discussion. — (*Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1957, p. 129*).
 - (2) VUORINEN, J. — Discussion. — (*Proceeding of Conference on Pore Pressure and Suction in Soils, Butterworths, London, 1961, p. 124*).
 - c) Plantema (Netherlands).
PLANTEMA, G. — Electrical Pore Water Pressure Cells : Some Designs and Experiences. — (*Proceedings Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, 1953*).

5. *Vibrating Wire Piezometers (piézomètres à corde vibrante) :*

- a) Maihak (West Germany).
MUHS, H. — Measurement of Pore Water Pressure in Open Ground, Particularly in Earth Dams. — (*Bau-Maschine and Bautechnik, Vols 7 and 8, 1954*).
- b) Telemac (France).
LE MOIGNE, G. — La Détermination des Pressions Interstitielles dans les Barrages en Terre. — (*Travaux, December 1957 and March 1958*).
- c) Building Research Station (England).
COOLING, L. F. — Field Measurements in Soil Mechanics. — (*Geotechnique, Vol. XII, No. 2, June 1962*).
- d) Galileo (Italy).

B) MOVEMENTS (MOUVEMENTS).

1. *Vertical Movement Devices (dispositifs verticaux de contrôle des mouvements) :*

- a) Surface Reference Monuments (Local).
U.S. Bureau of Reclamation Instructions for Installing and Reading Surface Settlement Points. — (*USBR Designation E-32, Appendix, Earth Manual, 1963*).
- b) U.S. Bureau of Reclamation Crossarm (U.S.A.).
U.S. Bureau of Reclamation. — Instructions for Installing and Reading Internal Vertical Movement Devices. — (*USBR Designation E-29, Appendix, Earth Manual 1963*).
- c) Idel (West Germany).
KOENIG, H. W. and IDEL, K. H. — Settlement Measurements on a 52-m High Rockfill Dam with Bituminous Surface Membrane. — (*Eighth Congress on Large Dams, Vol. IV, 1964*).
- d) Wilson Slope Indicator Casing (U.S.A.).
WILSON, S. D. — The Use of Slope Measuring Devices to Determine Movements in Earth Masses. — (*Symposium on Field Testing of Soils, American Society for Testing and Materials STP 322, 1962, pp. 187-198*).
- e) Water Level.
MALLET, C. H. and PACQUANT, J. — Moyens et dispositifs de mesure des déformations des barrages en terre et de leurs assises. — (*Transactions Fourth Congress Large Dams, Vol. 1, 1951*).

2. *Horizontal Movement Devices (dispositif de contrôle des mouvements horizontaux) :*

- a) Surface Reference Monuments (Local).
U.S. Bureau of Reclamation. — Instructions for Installing and Reading Surface Settlement Points. — (*USBR Designation E-32, Appendix, Earth Manual, 1963*).
- b) Long-Gage Wire Extensometers (U.S.A.).
WILSON, S. D. — Investigation of Embankment Performance. — (*Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, July 1967*).
- c) Idel (West Germany).
LAUFER, H. and SCHÖBER, W. — The Gepatsch Rockfill Dam in the Kauner Valley. — (*Eighth Congress on Large Dams, Vol. III, 1964*).

3. *Inclinometers :*

- a) Wilson Slope Indicator (U.S.A.).
WILSON, S. D. — Investigation of Embankment Performance. — (*Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, July 1967*).
- b) Eastman Slope Indicator (West Germany).
- c) Maihak Inclinometer (West Germany).
- d) Swedish Geotechnical Institute Indicator (Sweden).
KALLSTENIUS, T. and BERGAU, W. — In Situ Determination of Horizontal Ground Movements. — (*Proceedings of Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, 1961*).

4. *Strain Devices :*

- a) Linear Extensometers (Mexico).
MARSAL, R. J. and RAMIREZ de ARELLANO, L. — Performance of El Infer-

nillo Dam 1963-1966. — (*Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, July 1967*).

b) Linear Extensometers (BRS, England).

KENNARD, M. F., PENMAN, A. D. M. and VAUGHAN P. R. — Stress and Strain Measurements in the Clay Core of Balderhead Dam. — (*Ninth Congress on Large Dams, Vol. 3, 1967, pp. 129-151*).

C) SEISMIC MOVEMENT DEÉICES (DISPOSITIFS DE CONTROLE DES MOUVEMENTS SISMIQUES).

a) U.S. Coast and Geodetic Survey Accelerometer (U.S.A.).

CLOUD, W. K. and CARDER, D. S. — The Strong Motion Program of the Coast and Geodetic Survey. — (*World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, June 1956*).

b) Strong-Motion Seismographs (Japan).

OKAMOTO, S. *et al.* — Observations of Dams During Earthquakes. — (*Eighth Congress on Large Dams, Vol. II, 1964*).

c) Seismoscopes (Mexico).

MARSAL, R. J. and RAMIREZ de ARELLANO, L. — Performance of El Infernillo Dam 1963-1966. — (*Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, July 1967*).

d) SMAC Accelerometer (U.S.A.).

1) HUDSON, D. E. — The Measurement of Ground Motion of Destructive Earthquakes. — (*Bulletin Seismological Society of America, 53, February 1963*).

2) TAKAHASI, R. — The SMAC Strong Motion Accelerograph and Other Latest Instruments for Measuring Earthquakes and Building Vibrations. — (*World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, June 1956*).

D) PRESSURE CELLS (CELLULES DE PRESSION).

a) Carlson (U.S.A.).

RAPHAEL, J. M. and CARLSON, R. W. — Measurement of Structural Action in Dams. — (*James J. Gillick & Company, Berkeley, California, 1956*).

b) Corps of Engineers-WES (U.S.A.).

WOODMAN, E. H. — Pressure Cells for Field Use. — (*U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES), Bulletin No. 40, Vicksburg, Miss., 1955*).

d) Gloetzl.

SCHOBBER, W. — Large Scale Application of Gloetzl Type Hydraulic Stress Cells at the Gepatsch Rockfill Dam, Austria. — (*Report I, Baumesstechnik, 1965*).

d) Building Research Station (England).

KENNARD, M. F., PENMAN, A. D. M. and VAUGHAN, P. R. — Stress and Strain Measurements in the Clay Core at Balderhead Dam. — (*Ninth Congress on Large Dams, Vol. 3, 1967, pp. 129-151*).

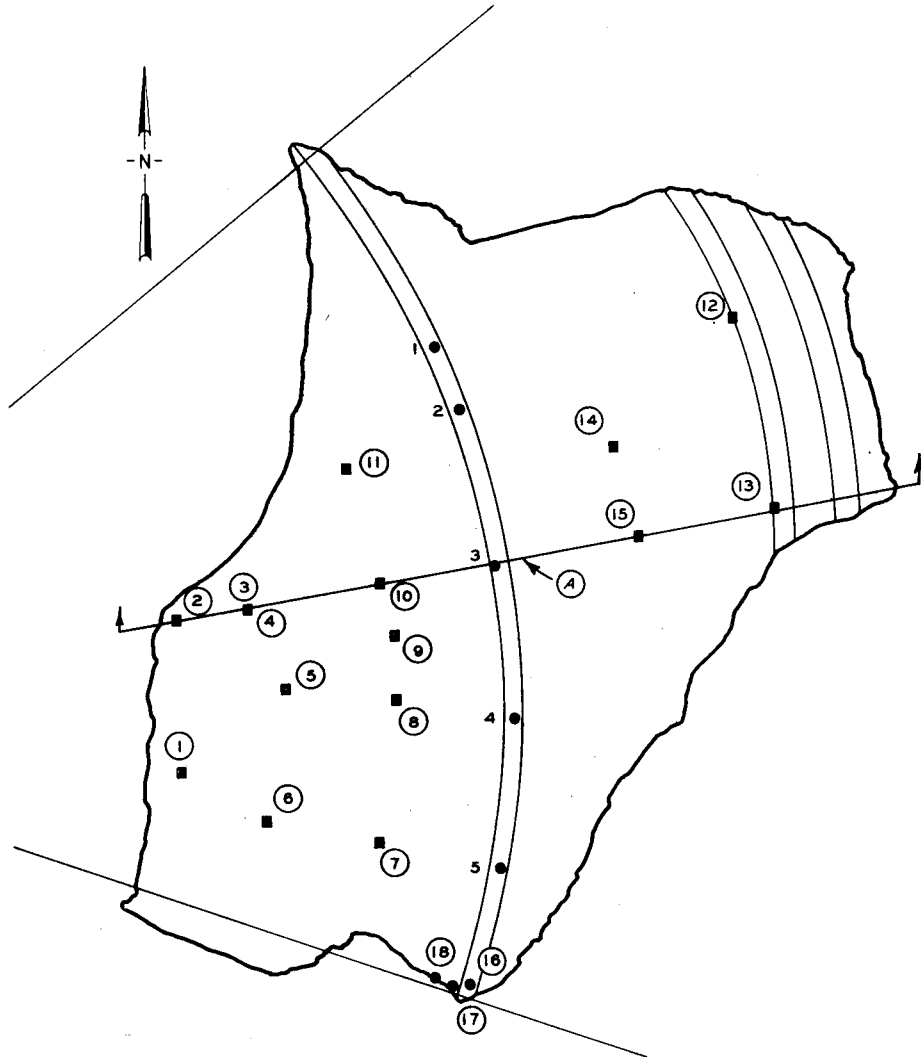


FIG. 1. — Barrage de CARTER (U.S.A.) : Emplacement des instruments.

- | | |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| • Vertical and inclined settlement tubes | Tubes verticaux et inclinés de mesure des tassements. |
| ▪ Instrument house, exit for horizontal deformation tubes..... | Logement des appareils, sortie des tubes de contrôle des déformations horizontales. |
| ⓐ Sections where pressure devices are located | Sections équipées de moyens de mesure de pressions. |

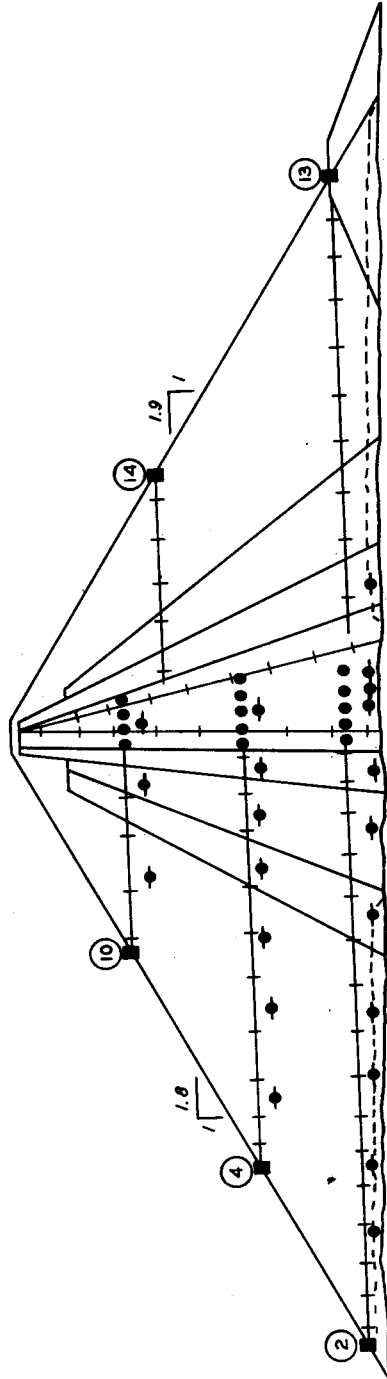


Fig. 2. --- Barrage de CARTER (U.S.A.) : Section transversale-type, avec indication des emplacements des moyens d'auscultation.

- Instru ment house
- ++ Tube with plates
- Pore pressure devices
- ◆ Total pressure devices
- Local des instruments.
- Tuyau à colerettes.
- Capsules de pression interstitielle.
- Capsules de pression totale.

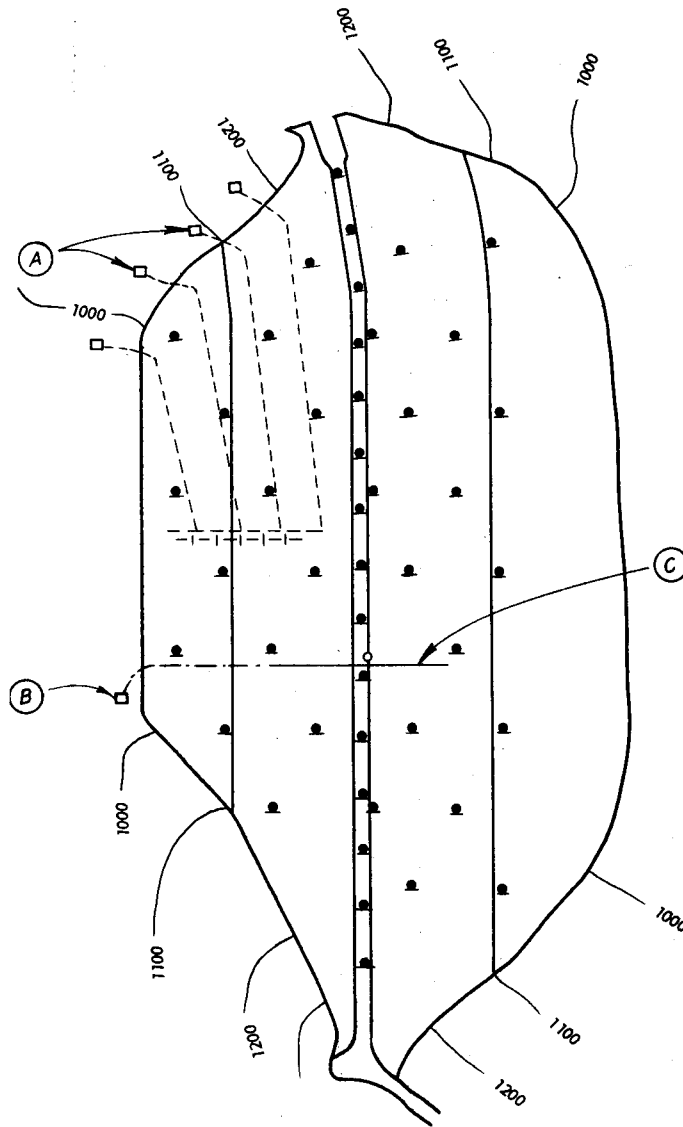


FIG. 3. — Barrage de BLOWERING (Australie) : Appareillage de mesures.

- | | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| ▲ Surface settlement point..... | Repère extérieur de tassement. |
| --- Hydrostatic settlement installation .. | Dispositif hydrostatique de mesure de tassement. |
| +--+ Horizontal movement installation ... | Contrôle des déplacements horizontaux. |
| — Piezometer installation..... | Piezomètres. |
| • Embankment settlement installation . | Contrôle de tassement du remblai. |
| Ⓞ Monometer cabinets..... | Cabine des manomètres. |
| Ⓢ Piezometer terminal | Arrivée des piézomètres. |
| Ⓣ Piezometer installation..... | Installation des piézomètres. |

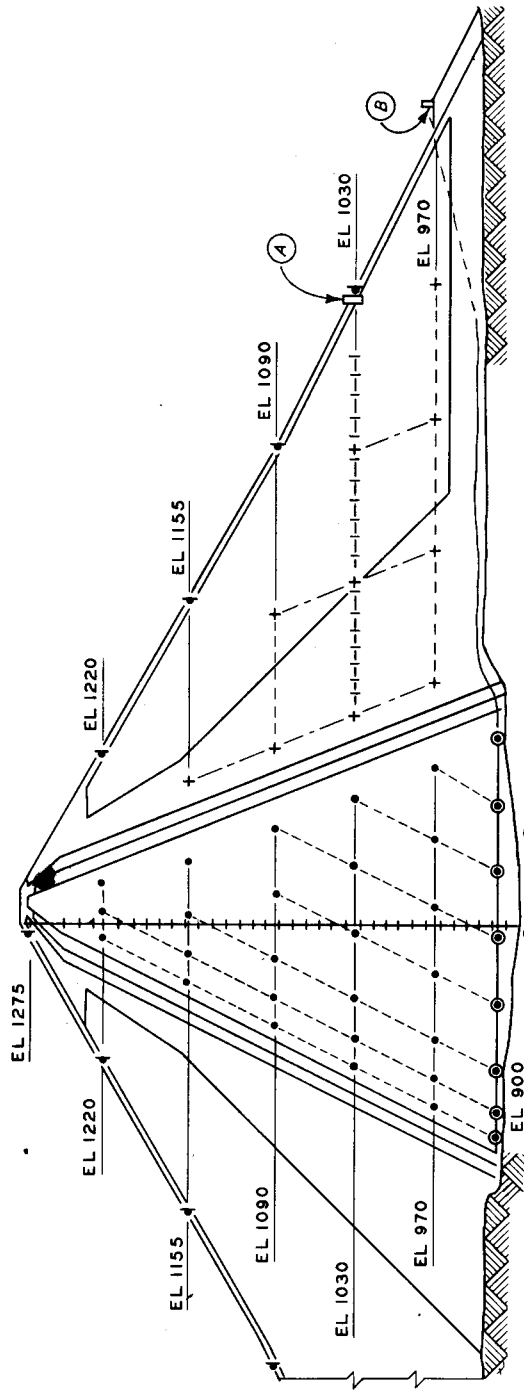


Fig. 4. -- Barrage de BLOWERING (Autriche) : Section transversale type, emplacement des appareils.

- * Surface settlement point.....
 - + Hydrostatic settlement gauge.....
 - Hydraulic piezometer.....
 - Electric piezometer.....
 - +--+ Horizontal movement installation.....
 - +--+ Embankment settlement installation.....
 - ⊙ Horizontal movement terminal.....
 - ⊙ Piezometer terminal.....
- Reperè extérieur de tassement.
 - Jauge hydrostatique de tassement.
 - Piezomètres hydrauliques.
 - Piezomètres électriques.
 - Contrôle des mouvements horizontaux.
 - Contrôle des tassements du remblai.
 - Sortie des dispositifs de contrôle des mouvements horizontaux.
 - Sortie des piezomètres.

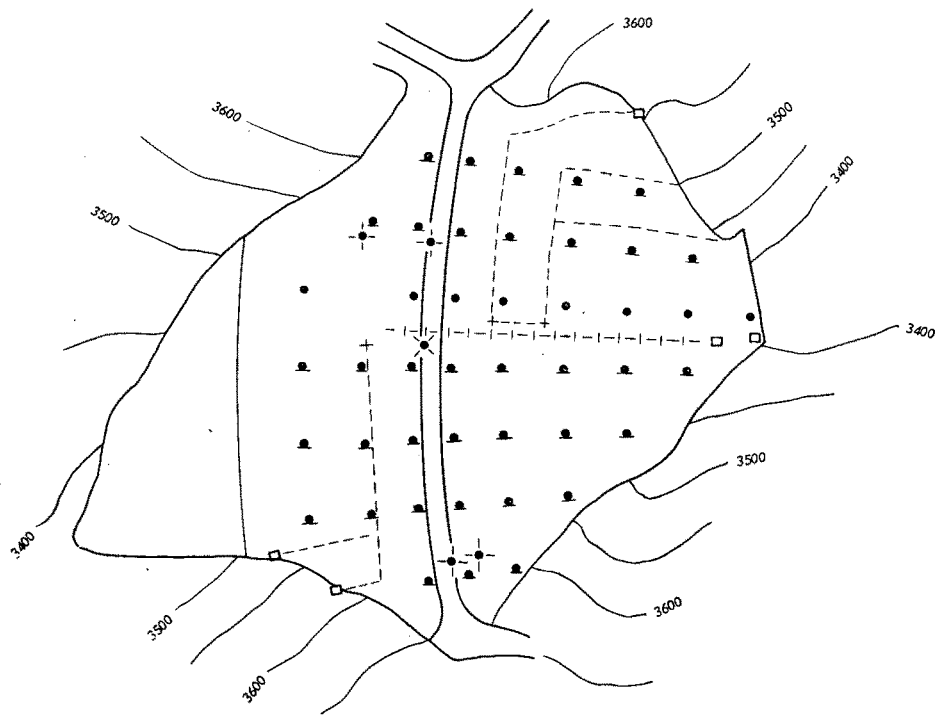


FIG. 5. — Barrage de GEBHI (Australie) : Appareillage de mesure.

- | | |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| + Hydrostatic settlement installation .. | Dispositif hydrostatique de contrôle de tassement. |
| * Surface settlement point | Repère extérieure de tassement. |
| -+- Horizontal movement installation .. | Contrôle des mouvements horizontaux. |
| □ Terminal box | Boîte d'extrémité. |
| + Foundation settlement installation.. | Contrôle de tassement des fondations. |

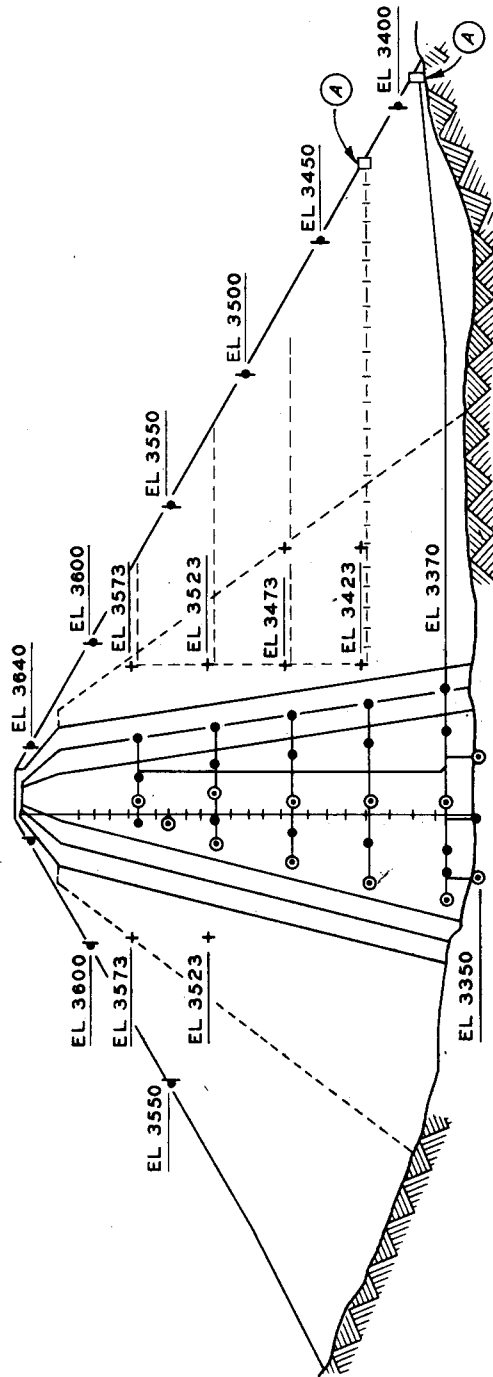


FIG. 6. — Barrage de GEEIII (Australie).

- Piezometer tip plus Maihak gauge.....
 - Piezometer tip
 - + Hydrostatic settlement installation
 - ◄ Surface settlement point.....
 - Horizontal movement installation
 - Embankment settlement installation
 - ⊙ Terminal well.....
- Capsule piézométrique et jauge de Maihak (à cadre vibrantes).
 - Capsule piézométrique.
 - Dispositif hydrostatique de contrôle de tassement.
 - Repère extérieur de tassement.
 - Contrôle des mouvements horizontaux.
 - Contrôle des tassements du remblai.
 - Point de sortie.

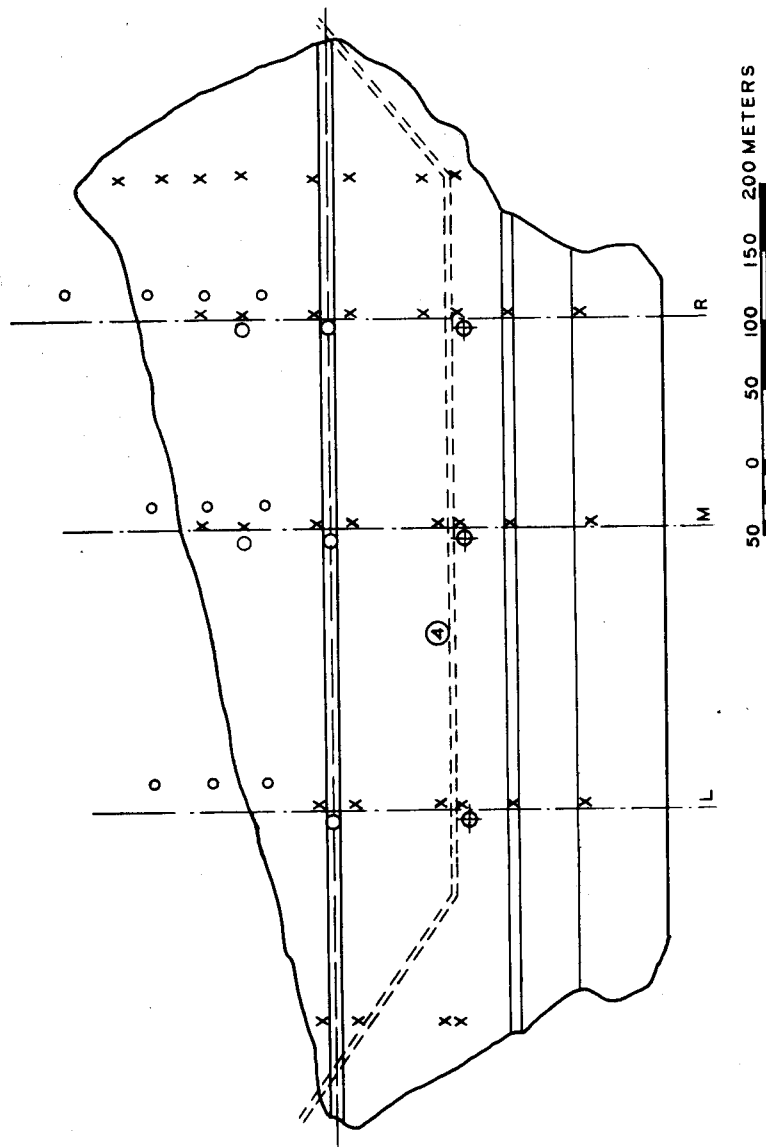


Fig. 7. — Barrage de MATTMARK (Suisse).

- | | | |
|---------|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| L, M, R | Measuring sections..... | Sections équipées en dispositifs de mesure. |
| ④ | Draining gallery..... | Galerie de drainage. |
| x | Surface reference points..... | Repères de surface. |
| o | Vertical settlement device..... | Dispositifs verticaux de contrôle des tassements. |
| ⊕ | Oblique settlement device..... | Dispositif obliques de contrôle des tassements. |
| o | Piezometer..... | Piezomètre. |

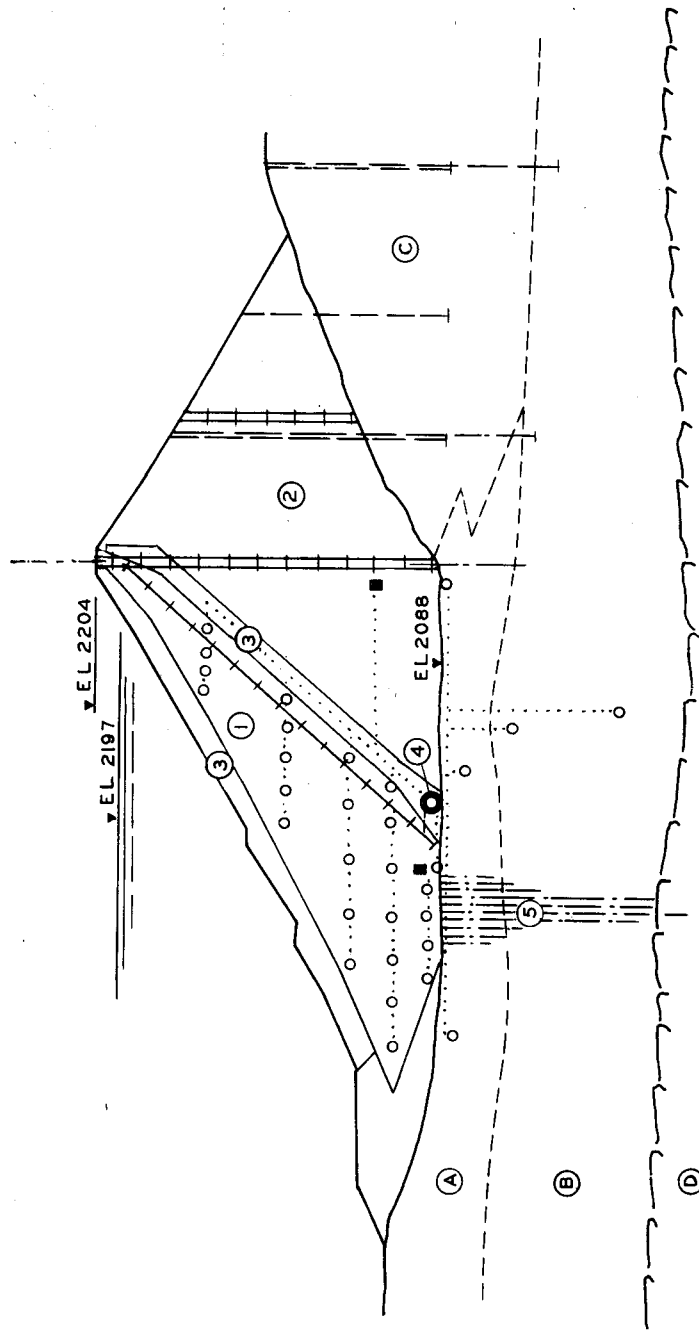


Fig. 8. — Barrage de MATTMARK (Suisse) :
Section transversale type avec emplacement des appareils Huggenberg.

⊙ Alluvium	⊙ Grouting curtain	⊙ Rideau d'injections.
⊙ Bottom moraine	◦ Pore pressure	◦ Cellule de pression interstitielle.
⊙ Recent moraine	▪ Earth pressure	▪ Cellule de pression intergra-
⊙ Bedrock	# Vertical settlement device	# Installation de contrôle des
⊙ Core	× Oblique settlement device	× Installation de contrôle des
⊙ Shell	Piezometer	tassements obliques.
⊙ Transition zones		
⊙ Draining gallery (leveling) .		

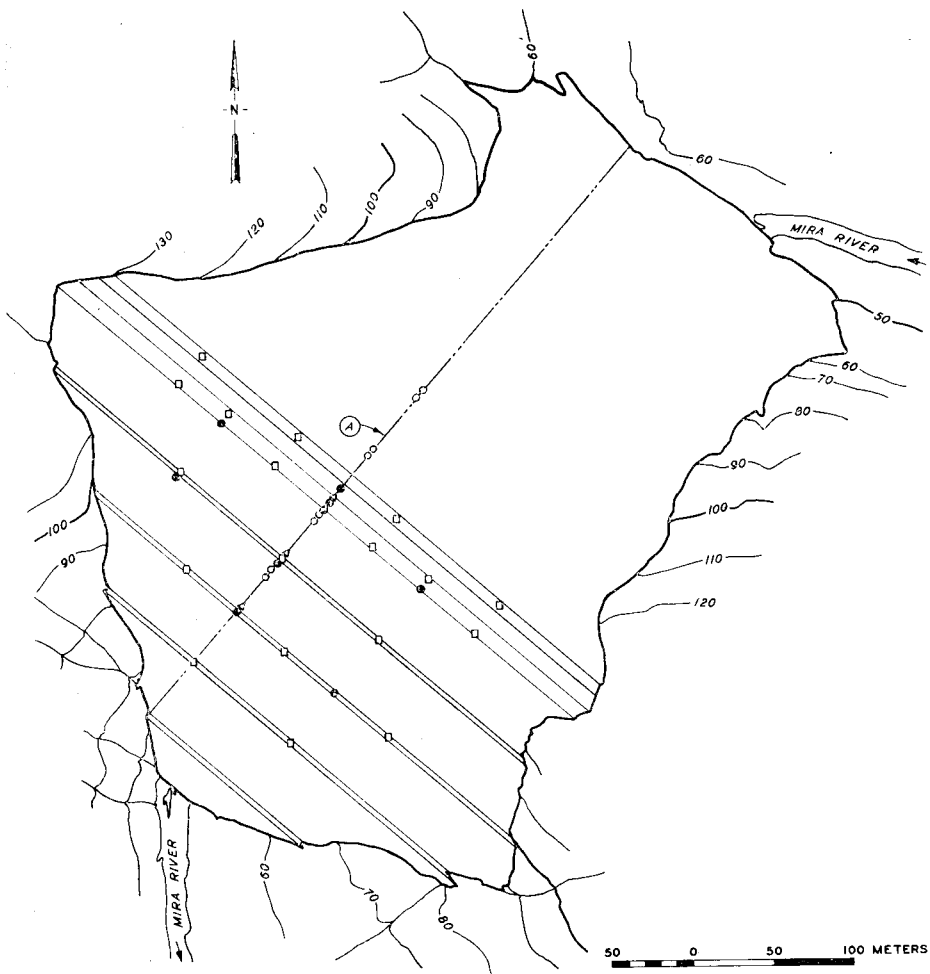


FIG. 9. — Barrage de MIRA (Portugal) : Emplacement des appareils.

- | | | |
|---|----------------------------------------|------------------------------------------|
| • | Pipe with wellpoint | Tube piézométrique. |
| ◦ | Vibrating wire piezometer (Mailhak) .. | Piézomètre à corde vibrante (Mailhak). |
| ◻ | Surface reference monuments | Repère topographique sur pilier. |
| △ | U.S. Bureau of Reclamation crossarm. | Dispositif à croisillon du type U.S.B.R. |
| ⊙ | Principal section of instruments | Principale section auscultée. |

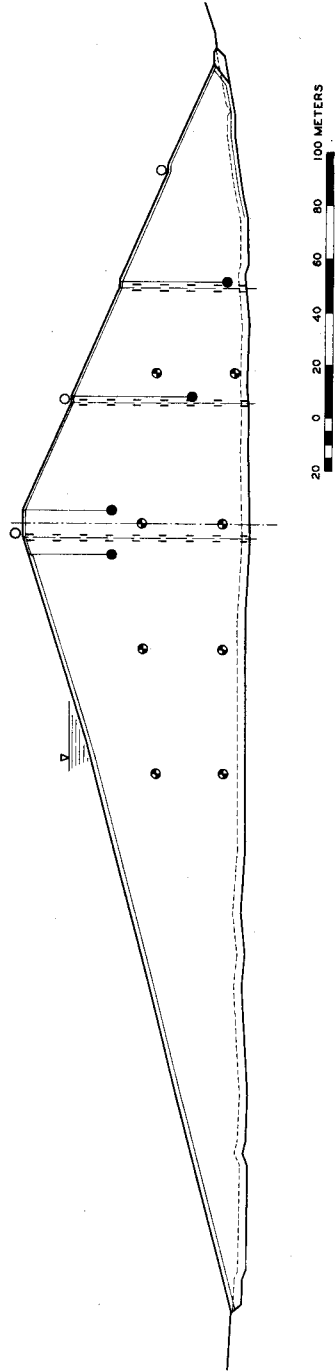


Fig. 10. — Barrage de MIRA (Portugal) : Principale section auscultée.

- Pipe with wellpoint
 - Vibrating wire piezometer (Mailhak)
 - Surface reference monuments
 - ⊕ U.S. Bureau of Reclamation crossarm
- Tube piézométrique.
 - Piézomètre à corde vibrante (Mailhak).
 - Repère topographique sur pilier.
 - ⊕ Dispositif à croisillon du type U.S.B.R.

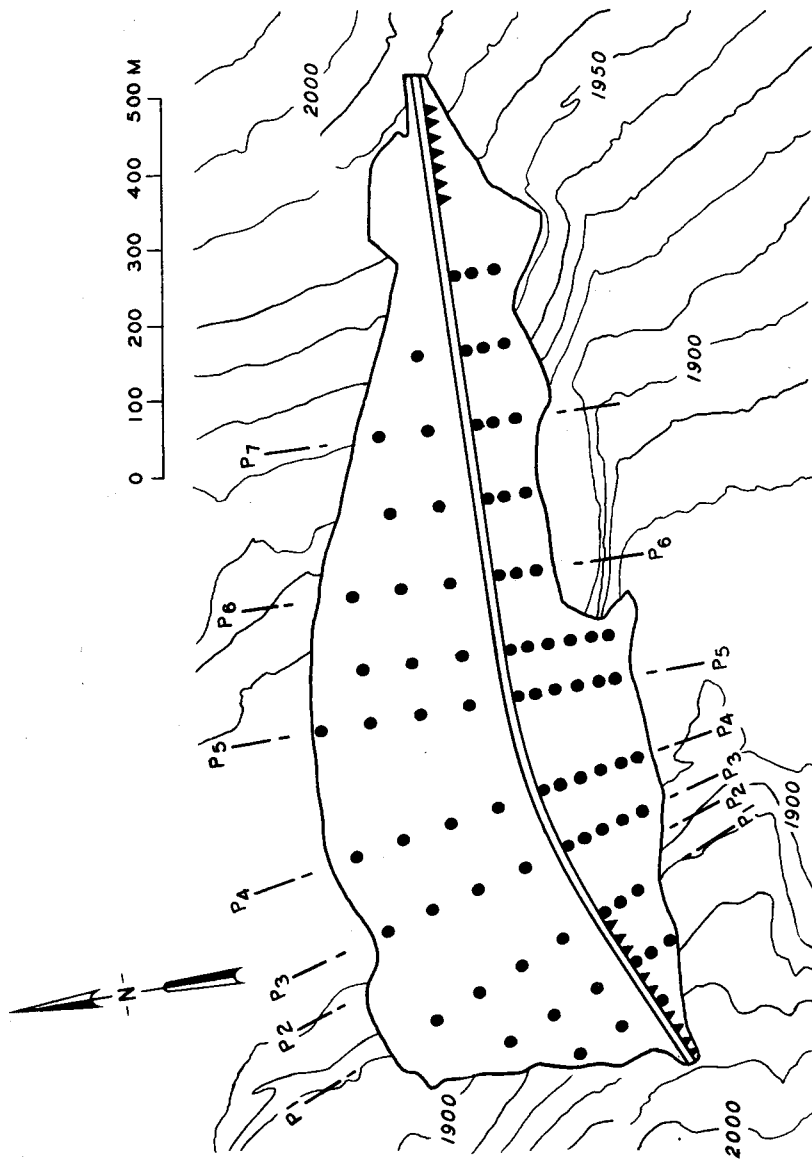


FIG. 11. — Barrage du MONT-CENIS (France) : Disposition de contrôle topographique.

- ▼ 61 topographical reference points of crest (leveling and distance measurements with invar wire).....
- Topographical reference points upon upstream and downstream faces (measurements of the X, Y, Z's).....
- P₁ to P₇ Internal sounding profiles

Soixante et un repères en crête (nivellement et chaînage au fil invar).

Repères topographiques sur parements amont et aval (contrôle en X, Y, Z).

Profils équipés des moyens d'auscultation interne.

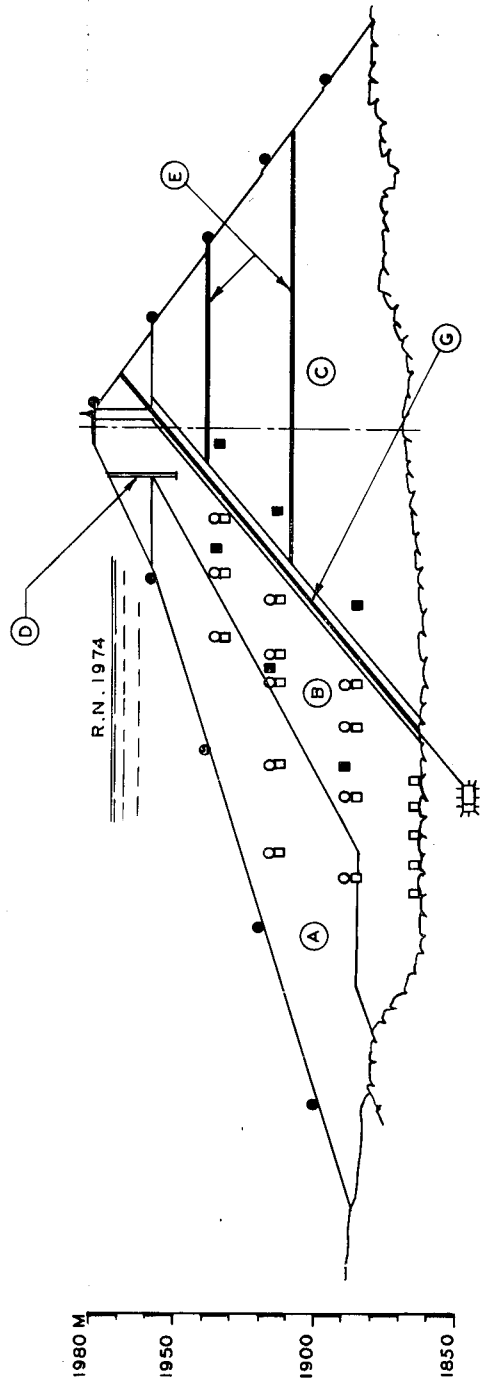


Fig. 12. Barrage du MOYT-CENIS (France) :
Section transversale montrant l'emplacement des appareils.

- | | | | |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ○ Hydraulic cells of interstitial pressure (USBR type) | Cellules de pression interstitielle (FW USBR). | points of crest (leveling and distance measurements with invar wire) .. | et chaînage au fil invar). |
| ○ Electric cells of interstitial pressure (Telemac) | Cellules électriques de pression interstitielle (Telemac). | ○ Earth | Terre. |
| ■ Electric temperature cells. | Thermomètres électriques. | ○ Core | Noyau. |
| ● Topographical Reference Points | Repères topographiques. | ○ Rock | Rocher. |
| ▲ Topographical reference | Repères de crête (nivellement | ○ Piezometer | Piezomètre. |
| | | ○ Horizontal tube | Tube horizontal. |
| | | ○ Inclined tube | Tube incliné. |

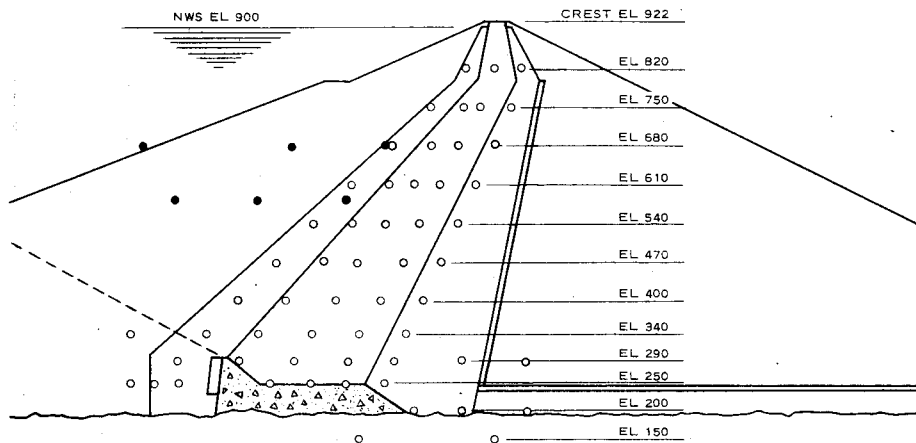


FIG. 13. — *Barrage OROVILLE (U.S.A.) : Emplacement des piézomètres.*

- Hydrodynamic measurements..... Mesures hydrodynamiques.
- Hydrostatic measurements Mesures hydrostatiques.

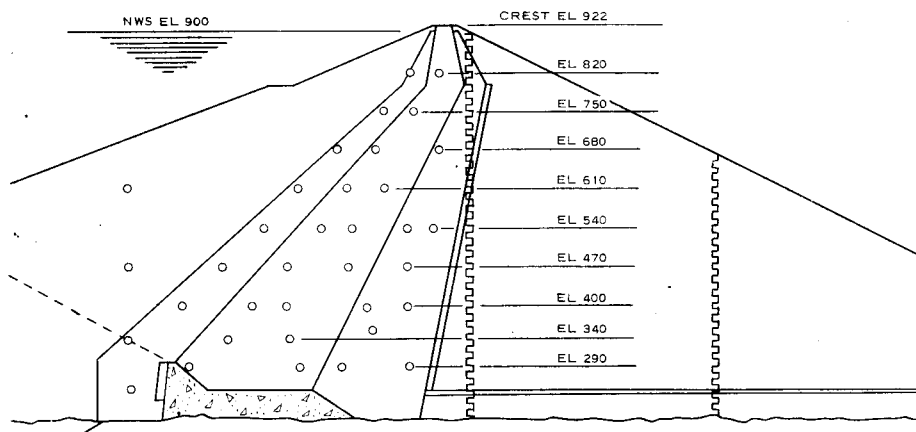


FIG. 14. — *Barrage OROVILLE (U.S.A.) : Emplacement des mesures de tassement.*

- Fluid level settlement device Contrôle de tassement à niveau d'eau.
- ≡ Crossarm settlement device Contrôle de tassement par croisillon.

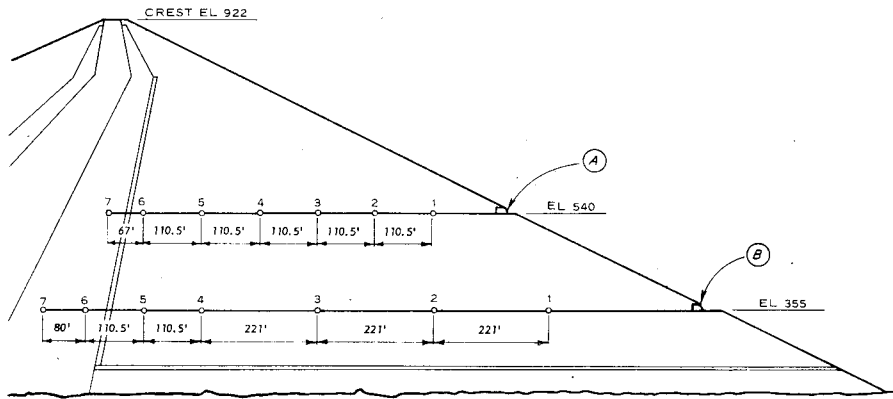


FIG. 15. — Barrage OROVILLE (U.S.A.) :
Emplacement de l'appareillage de contrôle des déformations horizontales.

- | | | |
|---|------------------------------|------------------------|
| Ⓐ | Instrument house « T » | Local de mesure « T ». |
| Ⓑ | Instrument house « U » | Local de mesure « U ». |

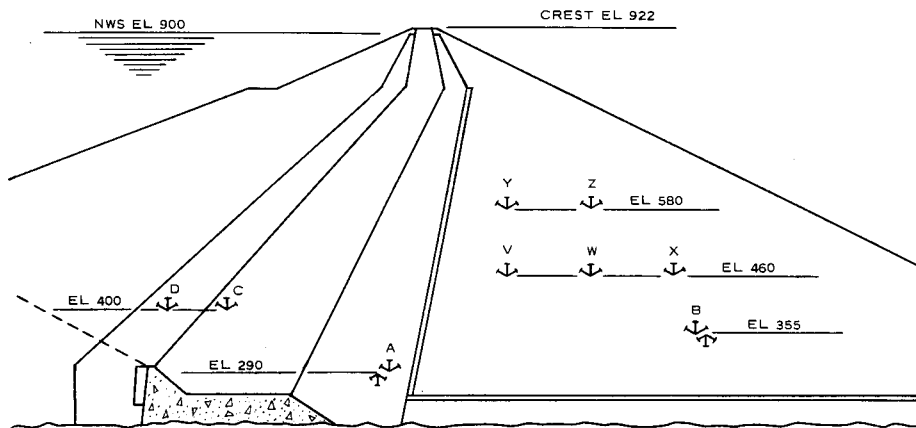


FIG. 16. — Barrage OROVILLE (U.S.A.)
Emplacement des extensomètres.

- | | | |
|----------------|---------------------------|---------------------|
| A, B, C, D. | Static measurements..... | Mesures statiques. |
| V, W, X, Y, Z. | Dynamic measurements..... | Mesures dynamiques. |

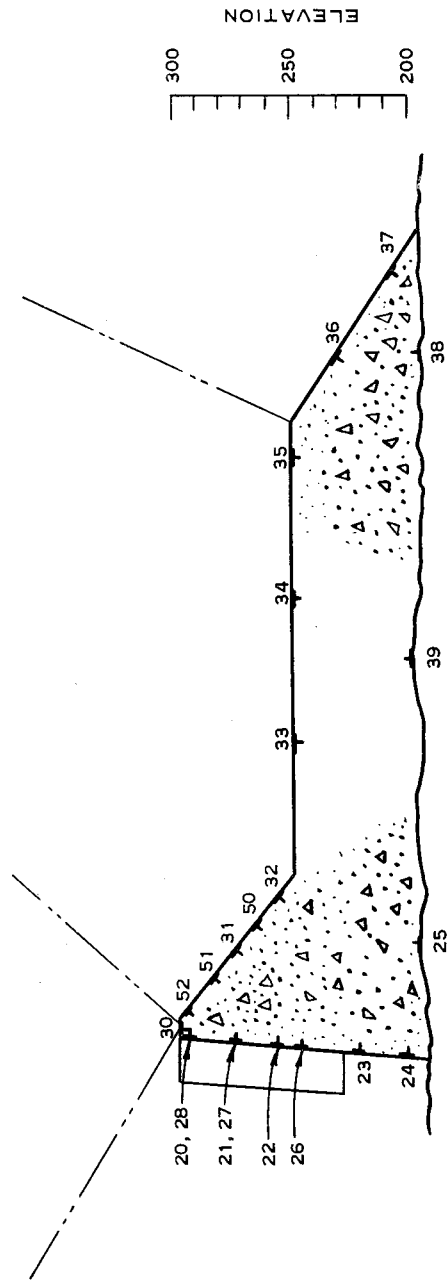


FIG. 17. — *Barage OROVILLE (U.S.A.).*

Location of core block stress meters..... Emplacement des appareils de mesure de contraintes dans le socle du noyau.

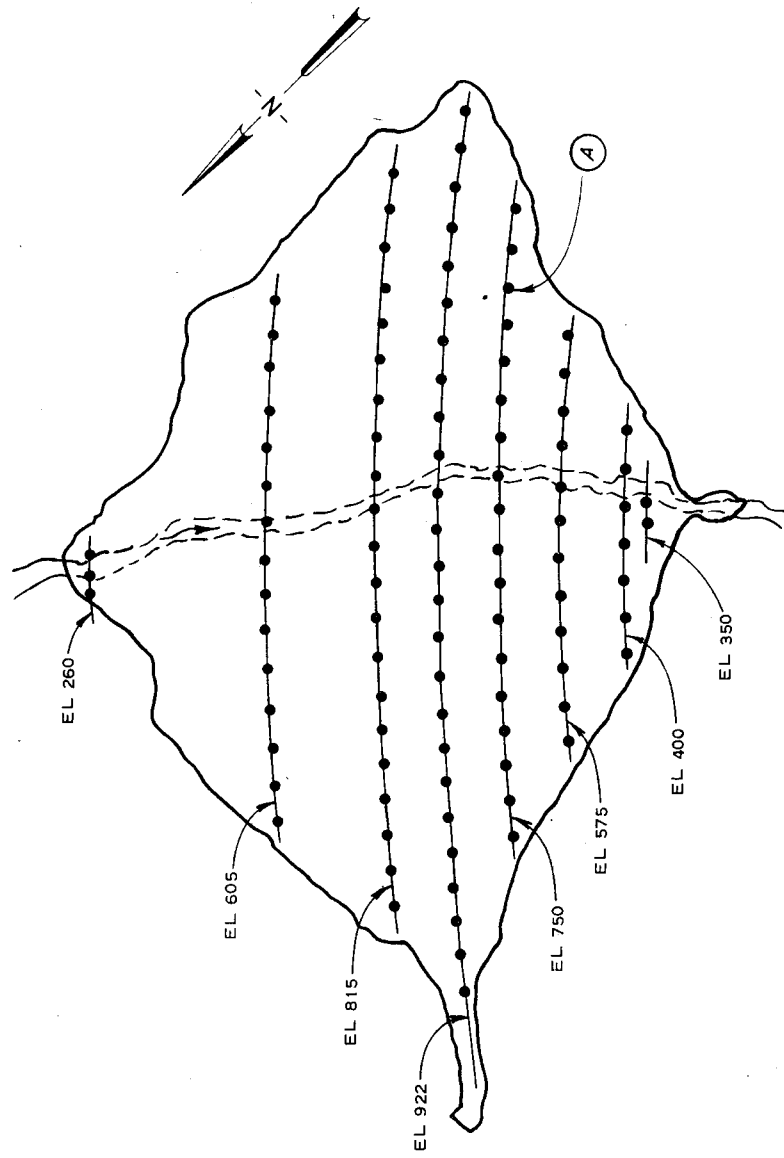


Fig. 18. Barrage *OROVILLE* (U.S.A.).
 (A) Surface reference points Emplacement des repères topographiques.

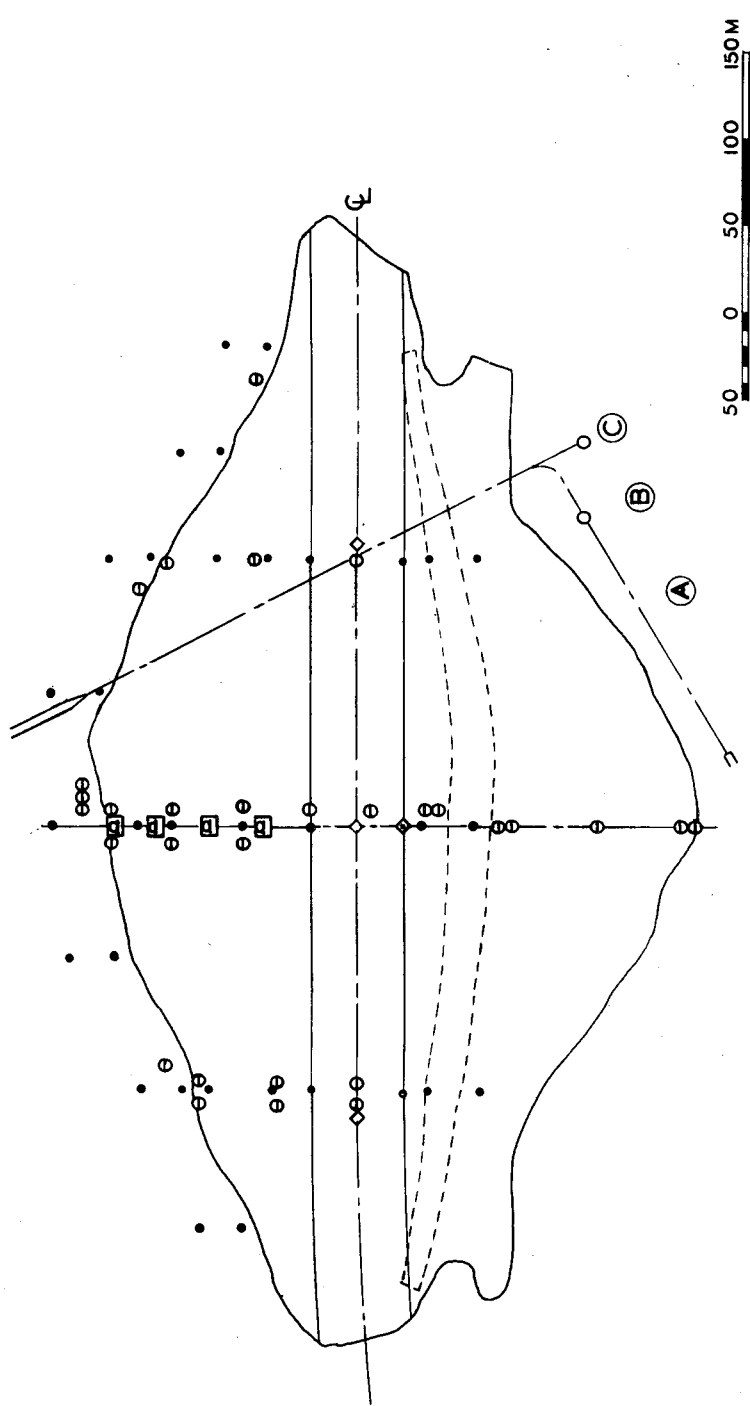


Fig. 19. — Barrage de SCAMMONDEN (Angleterre).

Plan of instrumentation...
 • Surface monument...
 ◊ Vertical and inclined settlement gauge...
 ◻ Foundation piezometer ...
 ◻ Instruments house carrying

Emplacement des instruments,
 Piliers topographiques,
 Jauge de contrôle des tassements verticaux et inclinés,
 Piézomètre de fondation,
 Local de mesure portant le

mekometer point...
 ◉ Diversion tunnel...
 ◉ Valve tower...
 ◉ Bellmouth Spillway...

point de visée du mécomètre (cf. page 1).
 Galerie de dérivation,
 Tour des vannes,
 Déversoir corolle.

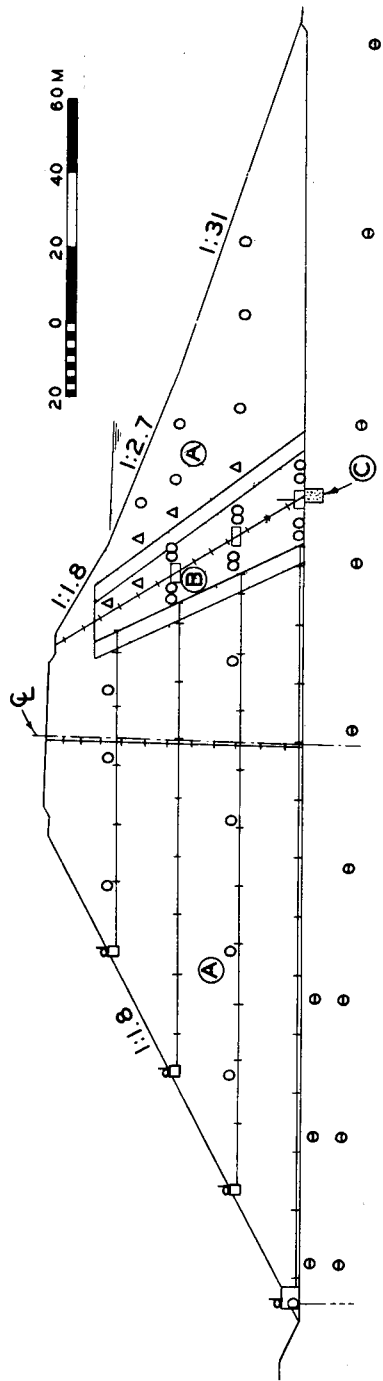


Fig. 20. — Barrage de SC. LMMONDEN (Angleterre).

- | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|
| Instrumentation at maximum section..... | + | Vertical settlement gauge. | λ | Inclined settlement gauge. | --- | Horizontal movement gauge..... | o | Foundation piezometer ... | o | Fill piezometer | ? | Inverted pendulum..... | ‡ | Instrument house carrying mekometer point..... |
| Équipement en appareils dans la section principale. | + | Jauge de tassement vertical. | λ | Jauge de tassement incliné. | --- | Jauge de mouvement horizontal. | o | Piezomètre de fondation. | o | Piezomètre de remblai. | ? | Pendule inversé (ou : pendule à flotteur). | ‡ | Local de mesure portant le point de visée du mekomètre |
| Water settlement gauge... | △ | Instrument cluster containing :
3 total pressure cells ...
2 horizontal strain gauges.....
1 vertical water overflow strain gage | □ | 3 piezometers.....
Compacted sandstone.....
Clay core.....
Grout cap..... | ⊙
⊙
⊙ | 3 piezometers.....
Compacted sandstone.....
Clay core.....
Grout cap..... | ⊙
⊙
⊙ | 3 piezometers.....
Grès compacté.
Noyau d'argile.
Cavalier d'injection. | ⊙
⊙
⊙ | Jauge hydraulique de tassement.
Groupe d'appareils comprenant :
5 cellules de pression totale.
2 extensomètres horizontaux.
1 extensomètre vertical hydraulique à déversoir. | ⊙
⊙
⊙ | 3 piezomètres.
Grès compacté.
Noyau d'argile.
Cavalier d'injection. | ⊙
⊙
⊙ | |

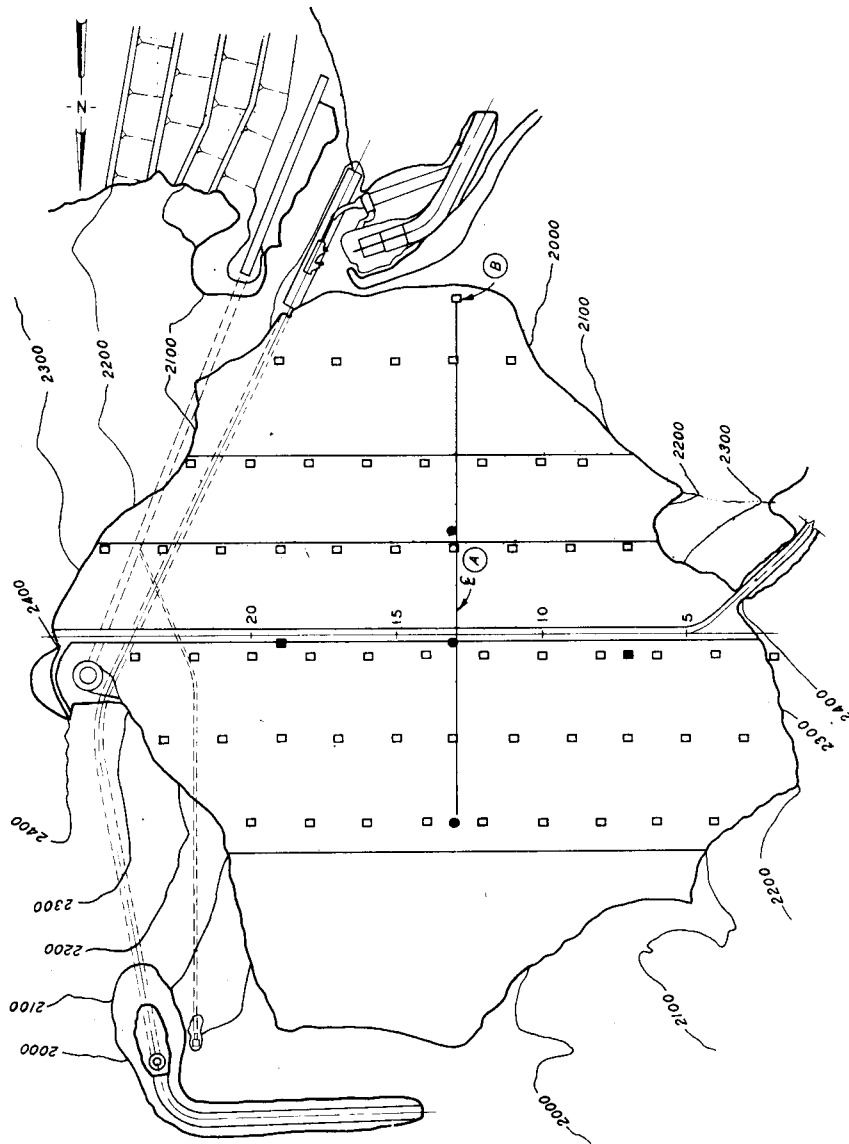


FIG. 21. — Barrage de TRINITY (U.S.A.) : Emplacement des appareils.

- | | | |
|---|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| • | Combined horizontal and vertical movement installations | Installation combinée de contrôle des mouvements verticaux et horizontaux. |
| □ | Embankment measurement points ... | Points de mesure sur le remblai. |
| ○ | Terminal well for twin-tube piezometer installation | Puits d'arrivée des doubles tubes des piézomètres. |
| ■ | Vertical movement installations .. | Dispositifs de contrôle des mouvements verticaux. |
| ⊙ | C Crest, sta 12 + 92. | |
| ⊕ | Terminal well for 72 piezometers..... | Puits d'arrivée de 72 piézomètres. |

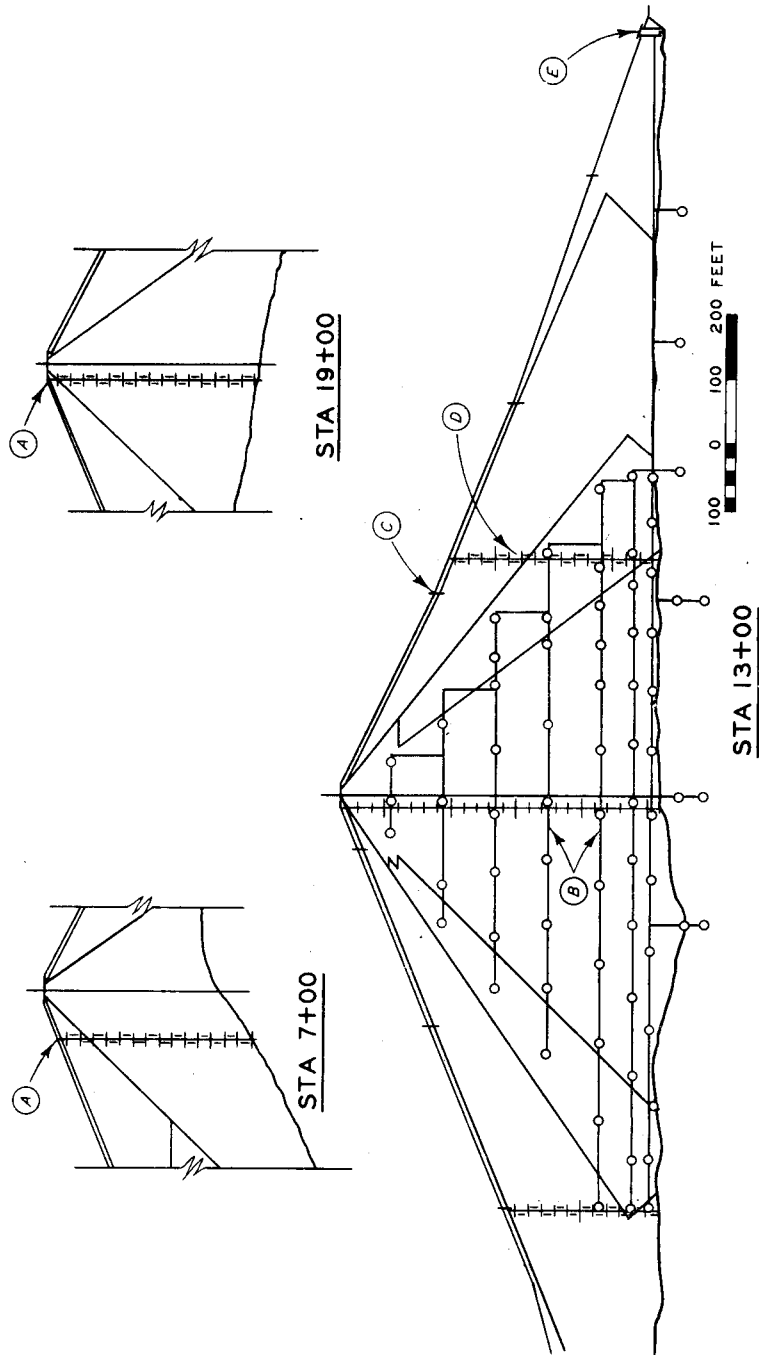


FIG. 22. — Barrage de TRINITY (U.S.A.) : Section transversale avec emplacement des appareils.

- | | | |
|---|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Ⓐ | Vertical movement installation | Contrôle des mouvements verticaux. |
| Ⓑ | Twin-tube piezometers | Piezomètres à double tube. |
| Ⓒ | Embankment measurements points | Points de mesure sur le remblai. |
| Ⓓ | Combined horizontal and vertical movement installation | Installation combinée de contrôle des mouvements verticaux et horizontaux. |
| Ⓔ | Terminal well for 72 piezometers | Puits de sortie des piezomètres. |

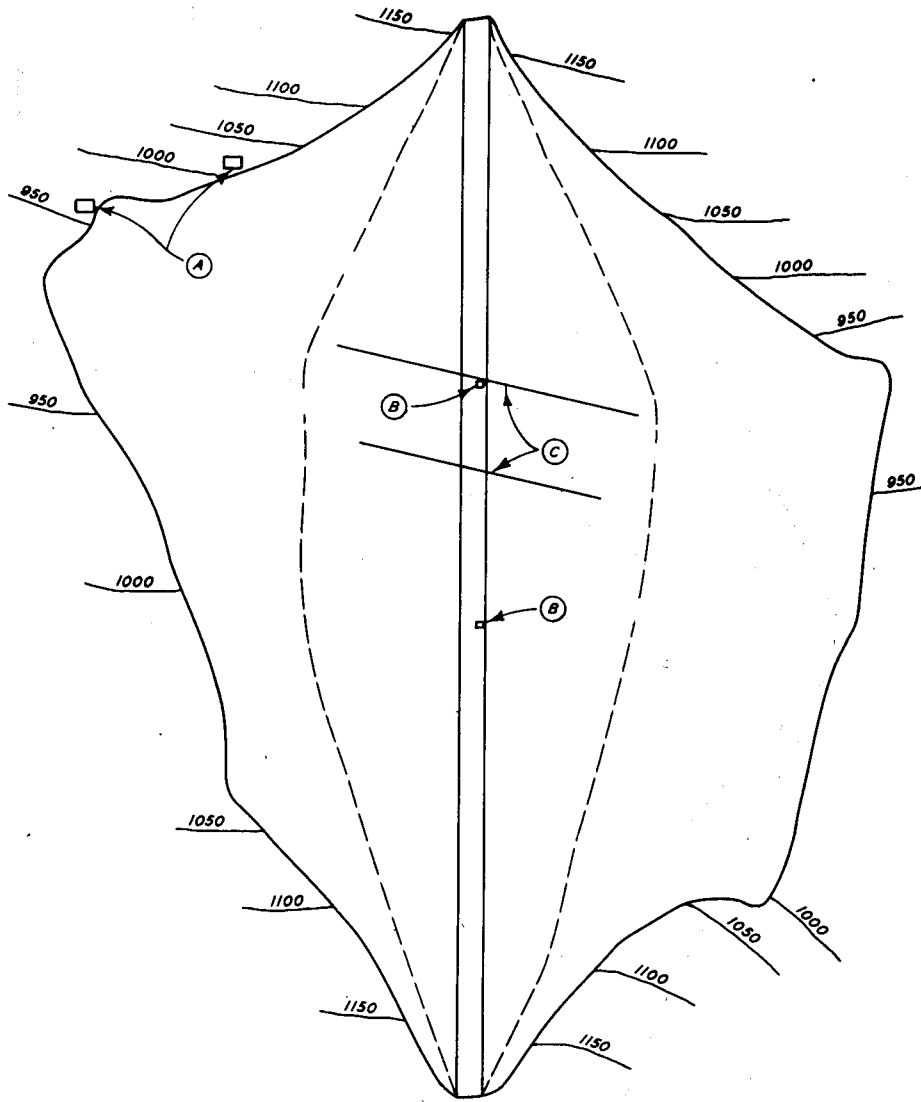


FIG. 23. — Barrage de UPPER YARRA (Australie).

- | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Ⓐ | Instrument houses..... | Local de mesures. |
| Ⓑ | Settlement gauge..... | Jauge de tassement. |
| Ⓒ | Pore pressure devices | Contrôle des pressions interstitielles. |

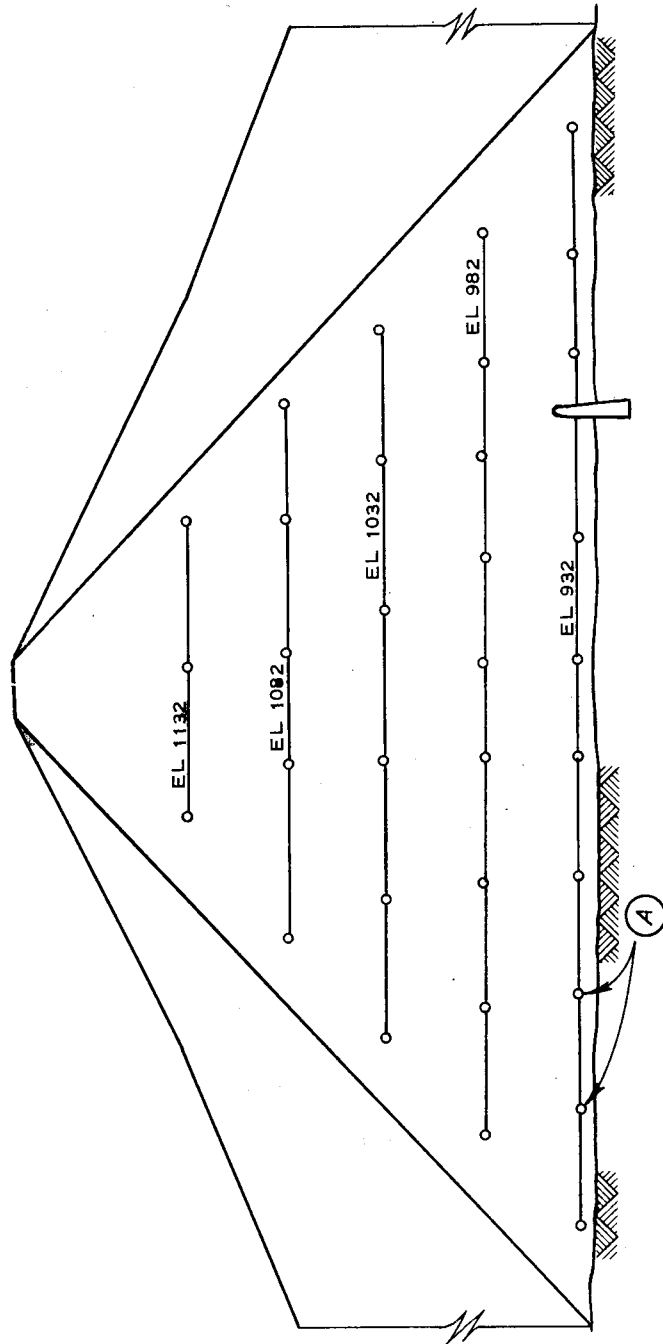


Fig. 24. — Barrage de UPPER YARRA (Australie).
 Pore pressure installation..... Contrôle des pressions interstitielles.

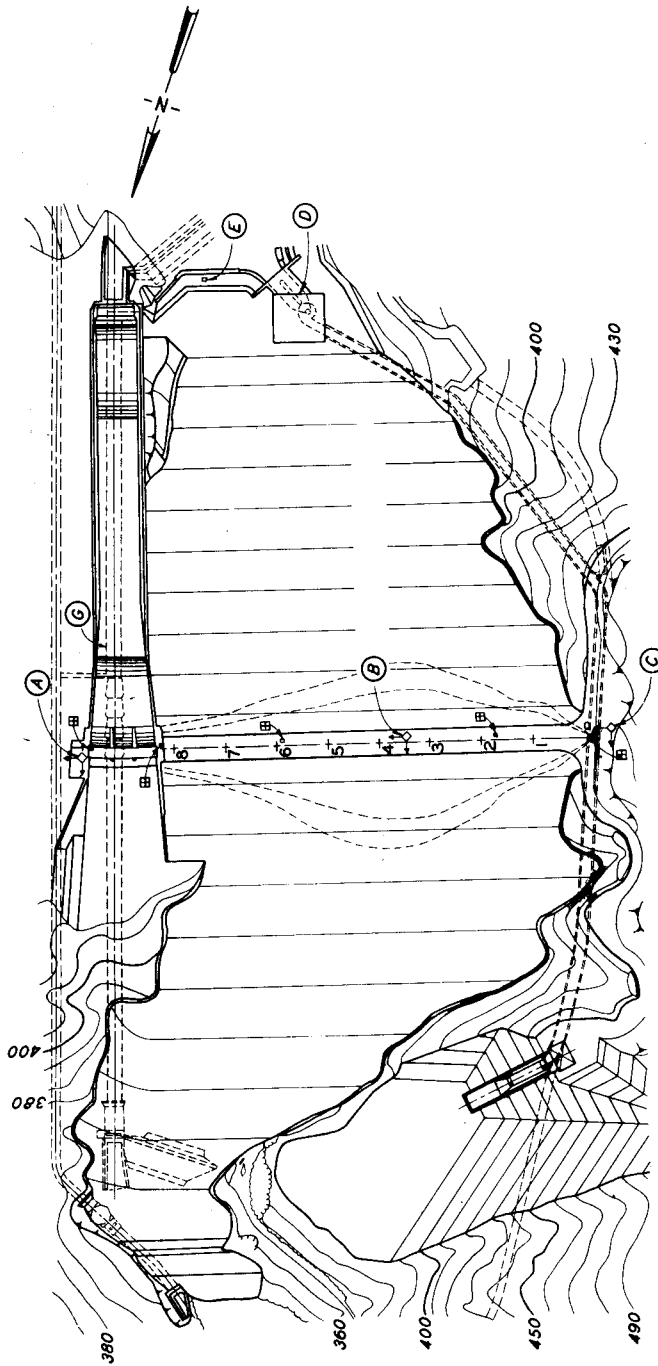


Fig. 25. — Barrage de YANASE (Japan).
 Appareillages de contrôle des mouvements et des tassements.
 Sismographes.

Accelerometer n°	Orientation	Acceleromètre n°	Orientation
1	Horizontal, dam axis.	1	Horizontal, axe du barrage.
2	Horizontal, stream axis.	2	Horizontal, axe de la vallée.
3	Vertical.	3	Vertical.
4	Horizontal dam axis.	4	Horizontal, axe du barrage.
5	Horizontal, stream axis.	5	Horizontal, axe de la vallée.
6	Vertical.	6	Vertical.
7	Horizontal, dam axis.	7	Horizontal, axe du barrage.
8	Horizontal, stream axis.	8	Horizontal, axe de la vallée.
9	Vertical.	9	Vertical.

④	Seismographs 1, 2, and 3.	Bâtiment de la centrale
⑤	Seismographs 4, 5, and 6.	Contrôle des fuites.
⑥	Seismographs 7, 8, and 9.	Évacuateur.

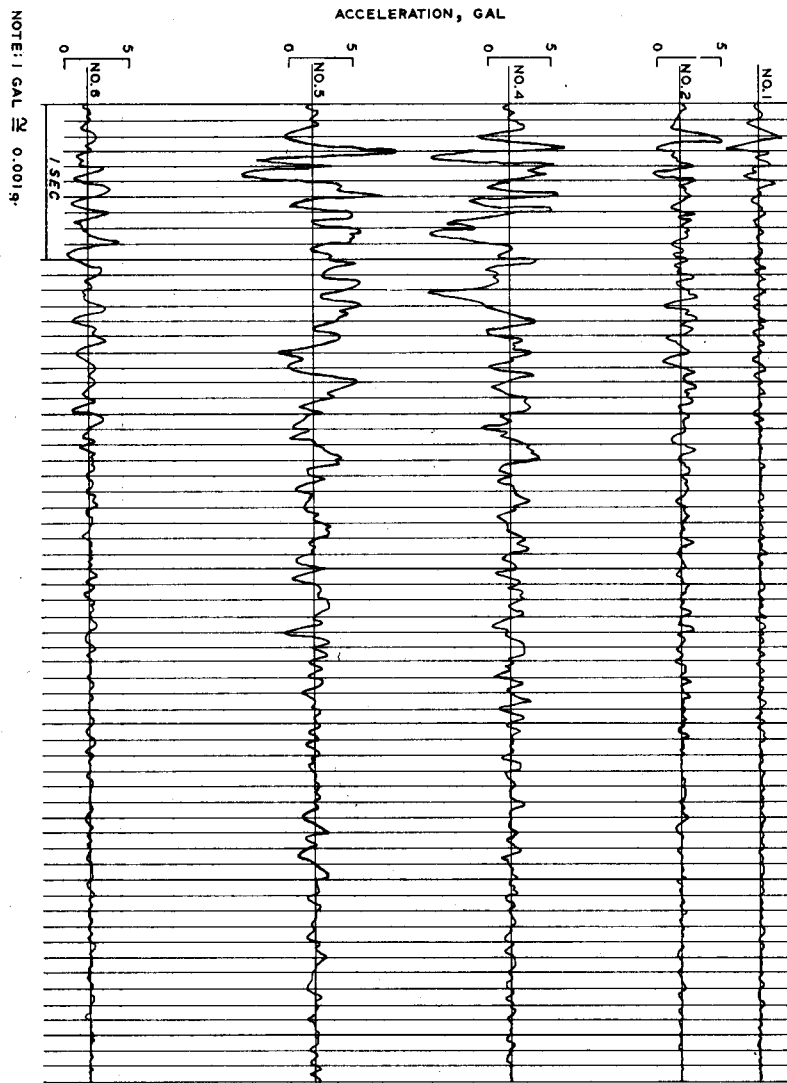


FIG. 26. — Barrage de YANASE (Japon).

Acceleration recorded during earthquake 2.50 a.m., 11 January 1967, Yanase Dam, Japan.....

Enregistrement des accélérations durant le tremblement de terre du 11 janvier 1967, 2-h 50.

IMPRIMERIE DE MONTLIGEON
61 - LA CHAPELLE-MONTLIGEON
67762 bis 12-69

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>