

AUTOMATED DAM MONITORING SYSTEMS

Guidelines and case histories

SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE DES BARRAGES

Recommandations et exemples

Bulletin 118

AUTOMATED DAM MONITORING SYSTEMS
SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE DES BARRAGES



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES
151, boulevard Haussmann - 75008 Paris - France
Téléphone : (33) 01 53 75 16 52 - Fax : (33) 01 40 42 60 71
<http://www.icold-cigb.org/>

118



2000

The cover illustration is reproduced from Fig. 2 – Appendix D. 5 – of the Bulletin : AEM-4 Dams (Italy) – ADAS (Automatic Data Acquisition System) configuration.

L'illustration de couverture est extraite de la Fig. 2 – Annexe D. 5 – du Bulletin : 4 Barrages AEM (Italie) – Configuration du SAAD (Système d'Acquisition Automatique de Données).

Original text in English
French translation by Y. Le May

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

AUTOMATED DAM MONITORING SYSTEMS

Guidelines and case histories

SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE DES BARRAGES

Recommandations et exemples

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71
E-mail : secretaire.general@icold-cigb.org - Site : www.icold-cigb.org.

COMMITTEE ON AUTOMATED MONITORING OF DAMS
AND THEIR FOUNDATIONS
COMITÉ DE L'AUSCULTATION AUTOMATIQUE DES BARRAGES
ET DE LEURS FONDATIONS
(1993-2000)

Chairman/Président

U S A /États-Unis R. P. SHARMA *

Vice-Chairman/Vice-Président

Spain/Espagne M.A. PEREZ-SAIZ *

Members/Membres

Argentina/Argentine A. PUJOL *

Australia/Australie N.K. MORRISON (1)
I. LANDON-JONES (2)

Austria/Autriche R. MELBINGER *

Cameroon/Cameroun A. NBAZO (3)

Canada/Canada J. LAMPA * (4)

D. MOORE * (5)

For. Yug. Rep. of Macedonia/

Ex-Rép. Youg. de Macédoine A. DELOV (6)

France/France M. POUPART *

Germany/Allemagne R. WOLF (7)

Iran/Iran H.R. TAMANNAI (8)

Italy/Italie P. BONALDI *

Japan/Japon I. SHIBATA * (9)

Y. MORI * (10)

Korea (Rep. of)/Corée (Rép. de) Seok-Ku KO *

Norway/Norvège E. DIBIAGIO *

Portugal/Portugal A. SILVA GOMES *

Romania/Roumanie D. HULEA *

Switzerland/Suisse W. HAUENSTEIN * (11)

L. MOUVET (12)

(*)Co-authors of the Bulletin/Coauteurs du Bulletin

(1) Member until 1996/Membre jusqu'en 1996

(2) Member since 1998/Membre depuis 1998

(3) Member since 1997/Membre depuis 1997

(4) Member until 1999/Membre jusqu'en 1999

(5) Member since 1999/Membre depuis 1999

(6) Member since 1995/Membre depuis 1995

(7) Member until 1997/Membre jusqu'en 1997

(8) Member since 1998/Membre depuis 1998

(9) Member until 1999/Membre jusqu'en 1999

(10) Member since 1999/Membre depuis 1999

(11) Member until 1999/Membre jusqu'en 1999

(12) Member since 1999/Membre depuis 1999

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION
 2. GLOSSAIRE ET LISTE DE SIGLES
 3. AUSCULTATION - REMARQUES GÉNÉRALES
 4. APPLICATION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE
 5. DESCRIPTION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION
 6. CONSIDÉRATIONS SUR LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME
 7. TRAITEMENT, ANALYSE, INTERPRÉTATION DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DE RAPPORTS
 8. ACQUISITION DES ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE
 9. INSTALLATION DU SYSTÈME
 10. EXPLOITATION ET ENTRETIEN
 11. PERSONNEL D'EXPLOITATION
 12. ÉVOLUTION FUTURE DES SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE
 13. LEÇONS TIRÉES
 14. BIBLIOGRAPHIE
- ANNEXES

CONTENTS

FOREWORD

1. INTRODUCTION
 2. GLOSSARY AND LIST OF ABBREVIATIONS
 3. MONITORING – GENERAL REMARKS
 4. APPLICATION OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS
 5. DESCRIPTION OF MONITORING SYSTEMS
 6. SYSTEM DESIGN CONSIDERATIONS
 7. DATA PROCESSING, ANALYSIS, INTERPRETATION AND REPORTING
 8. PROCUREMENT OF AMS COMPONENTS
 9. SYSTEM INSTALLATION
 10. OPERATION AND MAINTENANCE
 11. OPERATING PERSONNEL
 12. TRENDS IN FUTURE AUTOMATIC MONITORING SYSTEMS
 13. LESSONS LEARNED
 14. BIBLIOGRAPHY
- APPENDICES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	12
1. INTRODUCTION.....	14
1.1 Généralités	14
1.2 Historique	16
1.3 Terminologie et objet du Bulletin	18
1.4 Principaux éléments des systèmes d'auscultation automatique	22
2. GLOSSAIRE ET LISTE DE SIGLES	24
3. AUSCULTATION – REMARQUES GÉNÉRALES	34
3.1 Objectifs	34
3.2 Types de mesures	36
3.3 Principes généraux de conception	40
3.4 Traitement des données	40
4. APPLICATION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE	42
4.1 Nécessité d'automatisation	42
4.2 Nombre d'appareils à automatiser	44
4.3 Barrages existants et nouveaux	44
4.4 Inspection visuelle	46
4.5 Avantages et limitations	46
5. DESCRIPTION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION	52
5.1 Description générale d'un système d'auscultation automatique	52
5.2 Configuration d'un système d'auscultation automatique	54
5.2.1 Système centralisé d'acquisition de données	54
5.2.2 Système réparti d'acquisition de données	56
5.2.3 Comparaison des différentes configurations de systèmes	58
5.2.4 Emplacement du système de contrôle central de réseau et du système de traitement de données	60
5.3 Description des éléments du système.....	62
5.3.1 Appareils de mesure automatiques	62
5.3.2 Unités d'auscultation locales et à distance	64
5.3.3 Système de contrôle central de réseau	64

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD	13
1. INTRODUCTION	15
1.1 General	15
1.2 Background	17
1.3 Terminology and scope of Bulletin	19
1.4 Major elements of automated monitoring systems	23
2. GLOSSARY AND LIST OF ABBREVIATIONS.....	25
3. MONITORING – GENERAL REMARKS.....	35
3.1 Objectives	35
3.2 Types of measurements.....	37
3.3 Global design principles.....	41
3.4 Data processing.....	41
4. APPLICATION OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS.....	43
4.1 Need for automation.....	43
4.2 Number of instruments to be automated.....	45
4.3 Existing and new dams	45
4.4 Visual inspection.....	47
4.5 Advantages and limitations.....	47
5. DESCRIPTION OF MONITORING SYSTEMS.....	53
5.1 General description of an automated monitoring system.....	53
5.2 Configuration of an automated monitoring system.....	55
5.2.1 Centralized data acquisition system.....	55
5.2.2 Distributed data acquisition system.....	57
5.2.3 Comparison of different system configuration.....	59
5.2.4 Central network monitor and data processing system location	61
5.3 Description of system components.....	63
5.3.1 Automated instruments.....	63
5.3.2 Remote and local monitoring units.....	65
5.3.3 Central network monitor.....	65

5.3.4	Système de transmission de données.....	68
5.3.5	Système de traitement et de gestion de données	70
5.4	Systèmes spéciaux d'auscultation.....	72
5.4.1	Systèmes d'auscultation sismique	72
5.4.2	Systèmes de contrôle des accès et d'alarme anti-intrusion	76
6.	CONSIDÉRATIONS SUR LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME	80
6.1	Considérations générales sur la conception	80
6.1.1	Considérations environnementales et disposition générale	80
6.1.2	Précision du système de mesure	82
6.1.3	Fiabilité du système	82
6.1.4	Souplesse du système	82
6.1.5	Entretien	82
6.2	Conditions requises pour les éléments du système.....	84
6.2.1	Unités d'auscultation locales ou à distance	84
6.2.2	Système de contrôle central de réseau	86
6.2.3	Système de traitement et de gestion des données	88
6.2.4	Système de transmission des données	88
6.2.5	Compatibilité électromagnétique	90
6.2.6	Alimentation du système en énergie	90
7.	TRAITEMENT, ANALYSE, INTERPRÉTATION DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DE RAPPORTS	92
7.1	Généralités.....	92
7.2	Traitement en ligne des données	92
7.2.1	Caractéristiques générales	92
7.2.2	Validation des données et actions consécutives	94
7.2.3	Stockage des données	96
7.2.4	Entrée manuelle et édition des données	100
7.2.5	Gestion des alarmes et anomalies	100
7.3	Analyse, interprétation des données et présentation de rapports	102
7.3.1	Analyses basées sur des modèles statistiques et déterministes ...	102
7.3.2	Analyse basée sur une nouvelle technologie	104
7.3.3	Présentation de rapports sur les données	106
7.4	Logiciel	108
8.	ACQUISITION DES ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE	110
8.1	Acquisition, procédure et listes de contrôle.....	110
8.2	Spécifications	110

5.3.4	Data transmission system.....	69
5.3.5	Data processing and management system.....	71
5.4	Special monitoring systems.....	73
5.4.1	Seismic monitoring systems.....	73
5.4.2	Access control and anti-intrusion alarm systems.....	77
6.	SYSTEM DESIGN CONSIDERATIONS.....	81
6.1	Design concept.....	81
6.1.1	Environmental conditions and layout.....	81
6.1.2	Accuracy of measurement system.....	83
6.1.3	System reliability.....	83
6.1.4	System flexibility.....	83
6.1.5	Maintenance.....	83
6.2	Requirements for system components.....	85
6.2.1	Local or remote monitoring units.....	85
6.2.2	Central network monitor.....	87
6.2.3	Data processing and management system.....	89
6.2.4	Data transmission system.....	89
6.2.5	Electromagnetic compatibility.....	91
6.2.6	System power supply.....	91
7.	DATA PROCESSING, ANALYSIS, INTERPRETATION AND REPORTING.....	93
7.1	General.....	93
7.2	On-line data processing.....	93
7.2.1	General features.....	93
7.2.2	Data validation and subsequent actions.....	95
7.2.3	Data storage.....	97
7.2.4	Manual entry and editing of data.....	101
7.2.5	Management of alarm and anomalies.....	101
7.3	Data analysis, interpretation and reporting.....	103
7.3.1	Analyses based on statistical and deterministic models.....	103
7.3.2	Analysis based on new technology.....	105
7.3.3	Data reporting.....	107
7.4	Software.....	109
8.	PROCUREMENT OF AMS COMPONENTS.....	111
8.1	Procurement, procedure and checklists.....	111
8.2	Specifications.....	111

8.3	Méthodes de passation des contrats	114
8.4	Cautions relatives aux offres, garantie	116
9.	INSTALLATION DU SYSTÈME	118
9.1	Procédé d'installation	118
9.1.1	Réseaux de câbles	118
9.1.2	Pose des câbles	118
9.1.3	Pose du conducteur de mise à la terre	120
9.1.4	Installation des tableaux de terminal et des boîtes de groupement d'appareils	120
9.1.5	Câblage et raccordement des câbles	120
9.1.6	Essai de fonctionnement	120
9.2	Documentation	122
10.	EXPLOITATION ET ENTRETIEN	126
10.1	Généralités	126
10.2	Tâches d'exploitation et d'entretien	128
10.2.1	Essais de fonctionnement	128
10.2.2	Essais programmés du système	128
10.2.3	Entretien préventif	128
10.2.4	Entretien correctif	132
10.3	Tenue à jour de registres	132
10.4	Pièces de rechange	132
11.	PERSONNEL D'EXPLOITATION	136
11.1	Organisation du personnel d'exploitation	136
11.2	Conditions requises pour le personnel	138
12.	ÉVOLUTION FUTURE DES SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE	140
12.1	L'importance des systèmes d'auscultation automatique dans le futur	140
12.2	Tendances futures dans les méthodes et le matériel d'auscultation	142
12.3	Capteurs et systèmes de capteurs	142
12.3.1	Nouveaux capteurs et systèmes de capteurs	146
12.4	Câblage 150.....	146
12.5	Techniques d'interfaçage	150
12.6	Systèmes d'acquisition de données	152
12.6.1	Systèmes répartis ou centralisés d'acquisition de données	154
12.7	Sources d'alimentation en énergie	154

8.3	Contracting methods.....	115
8.4	Bid bonds, warranty.....	117
9.	SYSTEM INSTALLATION.....	119
9.1	Installation procedure.....	119
9.1.1	Cable runs.....	119
9.1.2	Cable laying.....	119
9.1.3	Laying the grounding conductor.....	121
9.1.4	Installation of terminal boards and instrument grouping boxes.....	121
9.1.5	Wiring and cable connection.....	121
9.1.6	Functional testing.....	121
9.2	Documentation.....	123
10.	OPERATION AND MAINTENANCE.....	127
10.1	General.....	127
10.2	Operation and maintenance tasks.....	129
10.2.1	Operational tests.....	129
10.2.2	Scheduled system tests.....	129
10.2.3	Preventive maintenance.....	129
10.2.4	Corrective maintenance.....	133
10.3	Record keeping.....	133
10.4	Spare parts.....	133
11.	OPERATING PERSONNEL.....	137
11.1	Organization for operating personnel.....	137
11.2	Personnel requirements.....	139
12.	TRENDS IN FUTURE AUTOMATIC MONITORING SYSTEMS.....	141
12.1	The importance of automatic monitoring systems in the future.....	141
12.2	Future trends in monitoring methods and equipment.....	143
12.3	Sensors and sensor systems.....	143
12.3.1	New sensors and sensor systems.....	147
12.4	Cabling.....	147
12.5	Interfacing techniques.....	151
12.6	Data acquisition systems.....	153
12.6.1	Distributed versus centralized data acquisition systems.....	155
12.7	Power sources.....	155

12.8 Liaisons de communication	156
12.9 Réseau informatique	156
12.10 Traitement et présentation des données	160
12.11 Techniques de gestion de bases de données	160
13. LEÇONS TIRÉES	162
14. BIBLIOGRAPHIE	166
ANNEXES (*)	169
Annexe A – Liste de contrôle pour les phases de conception	171
Annexe B – Liste de contrôle pour le projet du système	177
Annexe C – Liste de contrôle pour la préparation des spécifications relatives au système	187
Annexe D – Exemples	195
1. Barrage Piedra Del Aguila (Argentine)	196
2. Barrage Durlassboden (Autriche)	199
3. Barrage W.A.C. Bennett (Canada)	204
4. Barrage de Laparan (France)	213
5. Quatre barrages AEM (Italie)	218
6. Barrage Kaore (Japon)	223
7. Barrage Imha (Corée)	228
8. Barrage Tarnita (Roumanie)	231
9. Disposition générale du SAA-NOK (Suisse)	235
10. Barrage Clarence Cannon (États-Unis)	239
11. Barrage Deadwood (États-Unis)	244
12. Six barrages (Espagne)	248

(*) En anglais seulement

12.8	Communication links	157
12.9	Networking.....	157
12.10	Data processing and presentation.....	161
12.11	Database management techniques	161
13.	LESSONS LEARNED	163
14.	BIBLIOGRAPHY	166
APPENDICES (*).....		169
	Appendix A – Check list for planning steps.....	171
	Appendix B – Check list for system design.....	177
	Appendix C – Check list for preparation of system specifications.....	187
	Appendix D – Case histories	195
	1. Piedra Del Aguila Dam (Argentina).....	196
	2. Durlassboden Dam (Austria)	199
	3. W.A.C. Bennett Dam (Canada).....	204
	4. Laparan Dam (France).....	213
	5. AEM-4 Dams(Italy).....	218
	6. Kaore Dam (Japan).....	223
	7. Imha Dam (Korea).....	228
	8. Tarnita Dam (Romania).....	231
	9. NOK-AMS Layout (Switzerland).....	235
	10. Clarence Cannon Dam (U S A).....	239
	11. Deadwood Dam (U S A).....	244
	12. Six Dams (Spain).....	248

(*) In English only

AVANT-PROPOS

Le présent Bulletin « Systèmes d'Auscultation Automatique des Barrages – Recommandations et exemples » a été préparé par le Comité CIGB de l'Auscultation Automatique des Barrages et de leurs Fondations, présidé par Ram P. Sharma, États-Unis. Le Comité fut créé lors de la 61^e Réunion Exécutive de la CIGB (Le Caire, novembre 1993); la durée de six ans (1993-1999) de son mandat fut prolongée d'un an jusqu'en 2000. À l'origine, le Comité comprenait 13 membres représentant 13 pays : Allemagne, Argentine, Australie, Autriche, Canada, Espagne, États-Unis, France, Italie, Japon, Norvège, Portugal et Suisse. Par la suite, la Roumanie, la République de Corée, l'ex-République Yougoslave de Macédoine, le Cameroun et l'Iran furent nommés membres du Comité. Le projet final du Bulletin fut approuvé, pour publication, par la 67^e Réunion Exécutive de la CIGB (Antalya, Turquie, 1999).

Les missions du Comité étaient les suivantes :

- 1) Rassembler et examiner toutes les informations disponibles sur l'auscultation automatique des barrages et de leurs fondations dans tous les pays membres et indiquer les progrès réalisés dans ce domaine.
- 2) À partir des informations recueillies sur la pratique et l'expérience dans divers pays, préparer un Bulletin sur la technique actuelle, qui servira de guide à tous ceux intéressés par ces méthodes de surveillance continue, en rapide progrès; ce Bulletin traitera, entre autres, des méthodes automatiques de traitement et d'interprétation des données, de la comparaison des résultats avec les valeurs limites de variation des paramètres de comportement, des actions à entreprendre dans le cas d'un comportement anormal du barrage ou de sa fondation.

Les progrès rapides et continus dans le domaine de l'électronique, en particulier la miniaturisation des processeurs et des capteurs, l'augmentation de la fiabilité de fonctionnement, la diminution du coût de ces dispositifs, et des applications réussies de systèmes d'acquisition automatique de données ont suscité un intérêt considérable à l'égard de l'auscultation automatique des barrages. En raison de ces progrès, de plus en plus de maîtres d'ouvrage utilisent ces dispositifs automatiques pour le contrôle du comportement des barrages.

Les travaux soutenus du Comité, pendant près de six années, ont abouti à la publication du présent Bulletin « Systèmes d'Auscultation Automatique des Barrages – Recommandations et exemples » qui traite, de façon approfondie et complète, de tous les aspects de l'auscultation automatique des barrages et de leurs fondations. Le Bulletin est destiné à servir de guide et à présenter des informations détaillées et pratiques sur la technique actuelle, ainsi que des recommandations générales, à l'intention de tous ceux concernés par le projet, l'installation, l'exploitation et l'entretien de systèmes d'auscultation automatique. Pour accroître son utilité, le Bulletin comprend un certain nombre d'exemples traitant de divers aspects de l'auscultation automatique des barrages dans différents pays.

Je remercie vivement tous les membres du Comité et toutes les autres personnes, qui ont participé activement à la préparation du Bulletin et ont permis de mener à bonne fin la mission confiée au Comité.

Ram P. Sharma
Président du Comité de l'Auscultation Automatique
des Barrages et de leurs Fondations

FOREWORD

This Bulletin entitled “Automated Dam Monitoring Systems – Guidelines and case histories” has been prepared by the ICOLD Committee on Automated Monitoring of Dams and their Foundations, chaired by Ram P. Sharma, U S A. The Committee was appointed by the ICOLD Executive at its 61st meeting held in Cairo in November 1993 for a six-year term, 1993-1999 that was extended by one year to 2000. Originally the Committee had 13 members representing the 13 countries : Argentina, Australia, Austria, Canada, France, Germany, Italy, Japan, Norway, Portugal, Spain, Switzerland, and United States of America (U S A.). Subsequently, members were appointed from Romania, Republic of Korea, Former Yugoslavia Republic of Macedonia, Cameroon and Iran. The final draft of the Bulletin was approved for publication at the 1999 ICOLD 67th Executive Meeting in Antalya, Turkey.

The Committee’s Terms of Reference were as follows :

- 1) Collect and review all available information concerning automated monitoring of dams and their foundations in all member countries with advanced experience in this field.
- 2) Prepare a Bulletin on the present state of the art, based on documentation of current practice and experience in various countries, which could serve as a guide to all those interested in these rapidly advancing methods for continuous surveillance, including automated procedures for data processing and interpretation, comparison with variable limiting values, and strategies in the event of irregular behavior of the dam or its foundations.

The need for a guide for those interested in automated dam performance monitoring was prompted by the fact that continuing rapid advances in electronics particularly miniaturization of processors and sensors, increased performance reliability, decreased cost of these devices and successful applications of automated data acquisition systems have spurred considerable interest in automated performance monitoring of dams. As a result of these advances, increasingly more and more dam owners in various countries of the world are using these systems for dam performance monitoring.

The Committee’s nearly six years of diligent effort has culminated in this state of the art Bulletin titled “Automated Dam Monitoring Systems – Guidelines and case histories” that treats comprehensively all aspects of automated monitoring of dams and their foundations. The Bulletin is intended to serve as a guide and provides comprehensive and practical state of the art information and general guidelines to all those interested in the design, installation, operation and maintenance of automated monitoring systems. To enhance its usefulness to serve as a guide on the subject of automated dam monitoring, the Bulletin includes a number of case histories documenting experience on various aspects of automated dam monitoring relating to dams in various countries.

I wish to extend my sincere thanks to all the members of the Committee and also to several other individuals who have contributed generously of their time and experience and made possible the achievement of the Committee’s assigned mission.

Ram P. Sharma
Chairman, Committee on Automated Monitoring of
Dams and their Foundations

1. INTRODUCTION

1.1. GÉNÉRALITÉS

La sécurité d'un barrage et de la population à l'aval de l'ouvrage dépend non seulement de la qualité de sa conception et de sa construction, mais aussi d'un parfait entretien en cours d'exploitation ainsi que d'une surveillance efficace pour contrôler le comportement du barrage.

La surveillance de la sécurité d'un barrage nécessite la mise en œuvre de l'un et l'autre des procédés suivants : (i) inspections visuelles périodiques des surfaces exposées et accessibles du barrage, de la fondation, des galeries, des ouvrages annexes et de la retenue, (ii) auscultation systématique du barrage et de sa fondation au moyen d'appareils de mesure installés dans le barrage pour évaluer la sécurité de l'ouvrage.

Les principales opérations intervenant dans l'auscultation d'un barrage sont :

- L'exécution des mesures au moyen des appareils d'auscultation,
- La collecte et la vérification des données,
- Le traitement et l'analyse des données,
- L'interprétation et la présentation des résultats.

Dans le passé, toutes les opérations susmentionnées étaient exécutées manuellement sur les premiers appareils d'auscultation mis en place dans les barrages. Par la suite, le développement des ordinateurs dans les années 1970 allégea le lourd travail de traitement et de présentation des données, mais les relevés des appareils de mesure devaient toujours être effectués, et continuent à l'être, par le personnel sur le site du barrage. L'accès aux dispositifs d'auscultation pour les lectures normales constitue souvent une dure et périlleuse épreuve, en particulier dans les climats rigoureux et pour les barrages situés dans des zones enneigées et donc pratiquement inaccessibles, ou lorsque les mesures doivent être exécutées en périodes critiques (crues, séismes). Le personnel responsable de l'exécution des mesures d'auscultation a appelé de ses vœux des moyens permettant l'acquisition des données à distance, sans nécessiter l'accès physique au barrage. Ces vœux ont été exaucés par le développement des Systèmes d'Acquisition Automatique de Données (SAAD), permettant l'auscultation à distance du barrage.

Les progrès rapides et continus dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, en particulier la miniaturisation des processeurs et des capteurs, l'augmentation de la fiabilité de fonctionnement, la diminution du coût de ces dispositifs, et de nombreuses applications réussies de systèmes d'acquisition automatique de données ont suscité un intérêt considérable à l'égard de l'automatisation des systèmes d'auscultation des barrages. Aussi les maîtres d'ouvrage utilisent-ils de plus en plus des systèmes automatiques pour le contrôle du comportement des barrages. Toutefois, on doit rappeler que la plupart des barrages dans de nombreux pays continuent à être auscultés manuellement. Il faut également souligner que l'auscultation automatique d'un barrage n'est pas destinée à remplacer les inspections visuelles qui doivent rester obligatoires.

1. INTRODUCTION

1.1. GENERAL

The safety of a dam and the population downstream of it depends not only on the quality of its design and construction but it also depends significantly on proper maintenance during operation as well as appropriate surveillance to monitor the condition of the dam.

Dam safety surveillance is a two-part process that requires both (i) periodic visual inspections of accessible exposed surfaces of the dam, foundation, galleries, appurtenant structures and reservoir; and (ii) systematic monitoring of the dam and foundation by means of instrumentation installed in the dam for evaluation of its safety.

The principal activities involved in dam monitoring include :

- Taking measurements with the instruments,
- Data checking,
- Data processing, and analysis,
- Interpretation and reporting of the results.

Historically since the inception of dam instrumentation for monitoring dam performance, all of the above-mentioned activities have been performed manually. While the development of computers in the 1970s mitigated the tedious work involved in data processing and presentation, instrument readings still had to, and continue to, be taken manually by personnel at the dam site. Access to the instruments for normal readings often involves hardship and hazard, particularly in cases of harsh weather and for dams located in areas that become snowbound and thus become practically inaccessible, or when readings have to be taken during emergencies due to floods and earthquakes. Personnel responsible for taking instrument readings must have been wishing and praying for a means that would enable instrument data acquisition remotely, without the need for physical access to the dam. Their prayers were answered with the development of the Automatic Data Acquisition System (ADAS) that enables remote dam monitoring.

The continuing rapid advances in electronics and computer technology, particularly miniaturization of processors and sensors, increased performance reliability, decreasing cost of these devices and a number of successful applications of automated data acquisition systems, have spurred considerable interest in automation of monitoring systems for dams. Consequently, increasingly more and more dam owners are using automated systems for dam performance monitoring. However, it should be remembered that the performance of a majority of the dams in many countries is still being monitored manually. Also, it must be stressed that automated dam monitoring is not a replacement for the visual inspection, which should be mandatory.

La CIGB a examiné la question de l'auscultation automatique des barrages, pour la première fois en 1982, en publiant le Bulletin n°41 « L'automatisation dans le contrôle de la sécurité des barrages » présentant une synthèse complète de l'automatisation de dispositifs d'auscultation à cette époque. Le Bulletin CIGB n°68 « Auscultation des barrages et de leurs fondations – Technique actuelle », publié en 1989, traite de l'auscultation des barrages en général et n'aborde que très brièvement l'auscultation automatique.

L'intérêt croissant porté aux systèmes d'auscultation automatique et leur utilisation aux États-Unis ont conduit l'USCOLD à publier le document « Recommandations générales et pratique actuelle dans l'auscultation automatique des barrages aux États-Unis », qui traite de façon approfondie de tous les aspects de l'auscultation automatique des barrages et présente des recommandations générales sur cette technique.

L'attention de plus en plus grande portée aux problèmes de sécurité des barrages et les améliorations exceptionnelles dans les domaines du matériel informatique et des logiciels ont favorisé considérablement le développement et l'utilisation de l'auscultation automatique des barrages et de leurs fondations dans tous les pays du monde. Cela a conduit la CIGB à créer, en 1993, un Comité de l'Auscultation Automatique des Barrages et de leurs Fondations. Ce Comité fut chargé de préparer, à partir des informations recueillies sur la pratique et l'expérience dans divers pays en matière d'auscultation automatique des barrages et de leurs fondations, un Bulletin sur la technique actuelle qui servirait de guide à tous ceux intéressés par ces méthodes d'auscultation en rapide progrès.

Ce Bulletin intitulé « Systèmes d'auscultation automatique des barrages – Recommandations et exemples » a donc été préparé en vue de servir de source d'informations et constituer un guide complet et pratique à l'intention de tous ceux concernés par le projet, l'installation, l'exploitation et l'entretien de systèmes d'auscultation automatique. Le Bulletin se base en partie sur le document précité, publié par l'USCOLD, « Recommandations générales et pratique actuelle dans l'auscultation automatique des barrages aux États-Unis » (Mai, 1993).

Le Bulletin comprend un certain nombre d'exemples provenant de différents pays et traitant de divers aspects de l'auscultation automatique. Chaque exemple contient un rapport sur le succès relatif des opérations, les problèmes rencontrés et les mesures correctives nécessaires en vue de les éviter dans les applications futures.

1.2. HISTORIQUE

Le développement des Systèmes d'Auscultation Automatique (SAA) débuta dans les premières années 1970. Le contrôle automatique de grandeurs choisies fut réalisé par l'introduction de transducteurs électriques et d'appareils de transmission de données. Au début, l'automatisation se limita à l'acquisition, à la transmission et à l'affichage des données dans une salle d'opération ayant du personnel en permanence. L'automatisation a été étendue par la suite à l'analyse et à l'archivage des données.

ICOLD addressed the issue of automated dam monitoring for the first time in 1982 by publishing ICOLD Bulletin No. 41, “ Automated Observation for the Safety Control of Dams ”, which was a comprehensive review of the automation of monitoring systems at that time. ICOLD Bulletin No. 68, “ Monitoring of Dams and Their Foundations ”, published in 1989, dealt with dam monitoring in general and touched only briefly on automated monitoring.

Because of increasing interest in, and use of automated monitoring systems in the United States, USCOLD issued its publication “ General Guidelines and Current U.S. Practice in Automated Performance Monitoring of Dams ” in May 1993, that treats comprehensively all aspects of automated monitoring of dams and provides general guidelines concerning such monitoring.

The increased awareness of dam safety issues and the dramatic improvements in hardware and software have given a considerable boost to the development and use of automated performance monitoring of dams and their foundations in all countries of the world. This fact prompted ICOLD in 1993 to appoint a Committee on Automated Monitoring of Dams and Their Foundations. The Committee was given a mission to prepare a Bulletin on the present state of the art based on documentation of current practice and experience on automated monitoring of dams and their foundations in various countries which would serve as a guide to all those interested in these rapidly advancing methods for automated dam monitoring.

This Bulletin entitled “ Automated Dam Monitoring Systems – Guidelines and case histories ” has accordingly been prepared to serve as a source of information to provide comprehensive and practical guidance to all users engaged in the design, installation, operation and maintenance of automated monitoring systems. The Bulletin is based partly on the aforementioned USCOLD Publication, “ General Guidelines and Current U.S. Practices in Automated Performance Monitoring of Dams ”, published in May 1993.

The Bulletin includes a number of case histories dealing with various aspects of automated monitoring collected from different countries. All examples include a report on the relative success of the project, the problems encountered, and the necessary remedial actions with a view of avoiding them in future applications.

1.2. BACKGROUND

The development of Automated Monitoring Systems (AMS) was initiated in the early 1970s. The automated monitoring of selected data was accomplished by the introduction of electric transducers and data transmission equipment. At first, automation was restricted to the acquisition, transmission and display of data in a permanently manned operating room. Automation has been subsequently extended to include the analysis and archiving of data as well.

La réussite de l'automatisation des systèmes d'auscultation des barrages nécessite l'harmonisation de divers domaines techniques, tels que le génie civil, l'électronique, les communications, l'appareillage de mesure et les ordinateurs. Des premières tentatives furent rendues vaines par l'incapacité d'associer efficacement une discipline avec une autre.

En raison d'un faible marché, en particulier dans les petits pays, des produits standard n'étaient souvent pas disponibles. Au milieu des années 1980, la profession devenant mieux informée, ces systèmes d'usage coutumier commencèrent à disparaître et les fabricants se concentrèrent davantage sur des produits standard. Maintenant, à la fin des années 1990, de nouveaux logiciels sont disponibles pour la saisie des données provenant d'un système d'acquisition automatique de données et fournissent des informations sur les mesures dans des formats utilisables par les maîtres d'ouvrage, les organismes publics et les projecteurs.

1.3. TERMINOLOGIE ET OBJET DU BULLETIN

La surveillance d'un barrage – c'est-à-dire l'évaluation du comportement, de la sécurité et des conditions d'exploitation du barrage et de la retenue – comprend trois branches d'activités (Fig. 1) :

- Auscultation du barrage, de sa fondation et de ses ouvrages annexes;
- Inspections visuelles;
- Vérification et essai des organes d'exploitation (fonctionnement des vannes, des systèmes d'alarme, etc.).

Les priorités appliquées à ces activités peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de l'aménagement, mais chaque activité est indispensable.

Le terme « auscultation » utilisé dans le Bulletin se rapporte à la partie de la surveillance basée sur les appareils de mesure et leurs relevés. En général, certaines mesures sont encore exécutées et au moins partiellement traitées manuellement.

L'objet du Bulletin, comme l'indique la Fig. 1, est la gestion automatique du système d'auscultation et des données recueillies. Dans la plupart des cas, le traitement des données comprend une analyse préliminaire de celles-ci.

Au lieu du terme « auscultation automatique », le terme « auscultation à distance » est souvent utilisé. Cela présente l'avantage de souligner l'une des fonctions essentielles de ce type de système.

Des caméras de télévision constituent un « élément frontière » entre les domaines de l'auscultation à distance et de l'inspection visuelle.

Le matériel et les techniques décrites dans le Bulletin concernent les barrages et leurs fondations, mais peuvent s'appliquer également, de façon identique, à d'autres surveillances, par exemple, contrôle de la stabilité des versants de la retenue, d'ouvrages hydrauliques, etc., qui nécessitent, autant que le barrage, un contrôle de la sécurité.

Le contrôle de sécurité destiné à empêcher un accès non autorisé ou une intrusion est également traité brièvement.

Successful automation of dam monitoring systems requires the harmonization of diverse areas of expertise, such as civil engineering, electronics, communications, instrumentation and computers. Early efforts were often stymied by the inability of one required discipline to communicate effectively with another.

Due to the lack of a major market, especially in smaller countries, standardized products were often not available. By the mid 1980s, as the profession became more knowledgeable, these customized systems started to disappear and manufacturers concentrated more on standard products. Now, in the late 1990s, new software packages are available to take data from an automated data acquisition system and provide instrumentation information in formats useful to dam owners, regulators and designers.

1.3. TERMINOLOGY AND SCOPE OF BULLETIN

Dam surveillance – the process of assessing the performance, safety and operability of the dam and reservoir, respectively – comprises three branches of activities, see Fig. 1.

- Monitoring of the dam, its foundation, and appurtenant structures;
- Visual physical inspections; and
- Checking and testing of operational facilities (e.g., functioning of gates, alarm systems, etc.).

Priorities among these activities may vary depending on the situation at the specific plant, but each activity is indispensable.

The term “ monitoring ”, as used in this Bulletin, relates to the part of surveillance based on instrumentation and measurement. As a rule, some manual measurements are still acquired and at least partially processed manually.

The scope of the Bulletin, as shown in Fig. 1, is the automated management of the monitoring system and the data collected from it. In most cases a preliminary analysis of the data is included in the data processing.

Instead of the term “ automated monitoring ”, the term “ remote monitoring ” is often used. This has the advantage of emphasizing one of the essential functions of this type of system.

TV cameras form a “ boundary element ” between the fields of remote monitoring and visual inspection.

Equipment and techniques described in the Bulletin refer to dams and their foundations, but can also be applied in a similar way to the other objects of surveillance, i.e., reservoir slope stability, hydraulic structures etc., which are as relevant as the dam with respect to safety.

Security monitoring meant to prevent non-authorized access or intrusion respectively, is also dealt with briefly.

Le but principal du présent Bulletin est de fournir des informations techniques et d'attirer l'attention sur les facteurs nécessaires aux maîtres d'ouvrage et aux exploitants de barrages pour les prises de décisions.

Il faut toujours se rappeler qu'un système d'auscultation automatique est destiné à servir de support, mais non à remplacer l'homme et un « jugement technique solide ». Aussi toutes les activités dans ce domaine doivent-elles être coordonnées par une personne ayant de bonnes connaissances techniques, responsable et consciente des problèmes à traiter – Ingénieur de Sécurité de Barrage (ISB).

Un glossaire des divers termes techniques et une liste des sigles utilisés dans le présent Bulletin figurent dans le chapitre 2.

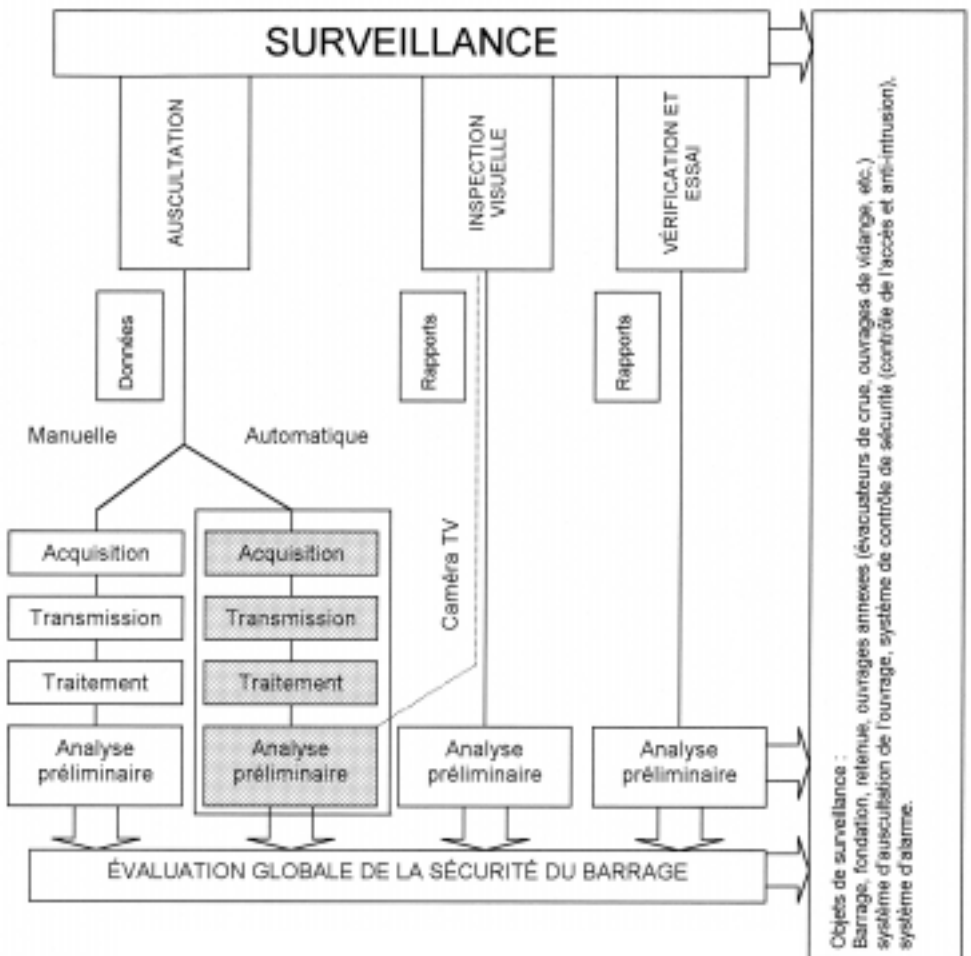


Fig. 1
Diagramme de surveillance

The main purpose of this Bulletin is to provide technical background information and to point out the factors required for decision-making by owners and operators of dams.

One should always keep in mind, that an automated monitoring system is meant to support but not to replace human intervention and “ sound engineering judgement ”. Therefore, all activities in this field must be coordinated by a person who has the technical knowledge, responsibility and awareness of the problems involved – the Dam Safety Engineer (DSE).

A glossary of the various technical terms and a list of the abbreviations used in this Bulletin are included in Section 2.

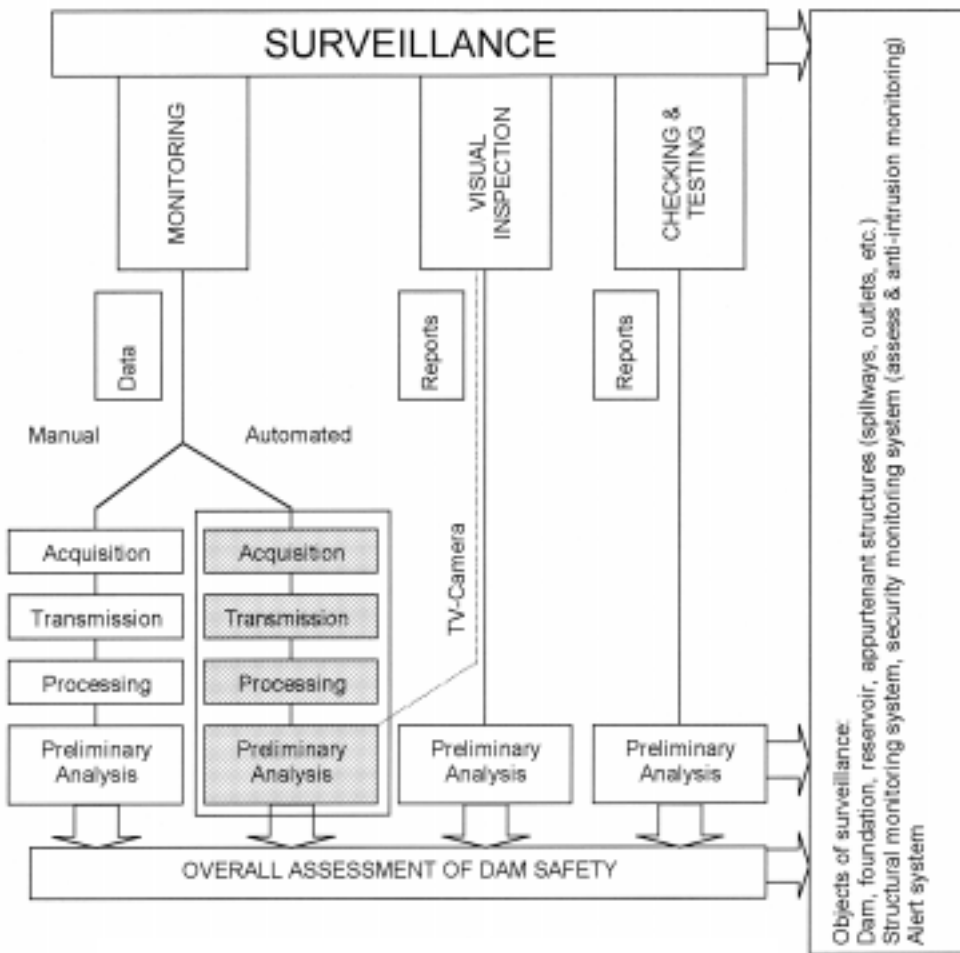


Fig. 1
Framework of Surveillance

1.4. PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DES SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

Un Système d'Auscultation Automatique de barrage, parfaitement conçu, comprend trois éléments principaux :

- Le Système d'Acquisition Automatique de Données (SAAD), qui inclut les capteurs pouvant être relevés à distance, un enregistreur de données pour l'acquisition des mesures, les liaisons entre les capteurs et l'enregistreur de données, et le logiciel nécessaire au contrôle du processus d'acquisition.
- Le Système de Transmission de Données (STD) qui permet le contrôle à distance de l'enregistreur de données et la transmission des mesures jusqu'à la station de traitement située à un autre emplacement.
- Le Système de Traitement et de Gestion des Données (STGD), qui vérifie, imprime et affiche les données, les traite en vue de détecter des anomalies éventuelles, gère les systèmes d'alarme, contrôle à distance les capteurs et les transmissions et, le cas échéant, archive les données.

Le sigle SAAD est trop souvent utilisé de manière incorrecte pour désigner un système entier d'auscultation automatique, alors qu'il couvre seulement la partie « avant » d'une installation de ce type.

1.4. MAJOR ELEMENTS OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS

A fully developed Automated Monitoring System for a dam consists of three main components :

- The Automated Data Acquisition System (ADAS), which includes the sensors that can be remote-monitored, a data-logger for measurement acquisition, the connections between the sensors and the data-logger, and the software required to control the acquisition process.
- The Data Transmission System (DTS), which enables the data-logger to be remote-controlled and allows measurements to be transmitted to a processing station at another location.
- The Data Processing and Management System (DPS), which checks, prints and displays the data, processes them for anomaly detection, manages alarms and remote-monitors the sensors and transmissions and eventually archives data.

The abbreviation ADAS is too often incorrectly used to designate an entire automated monitoring system, whereas it only covers the “ front-end ” part of an installation of this kind.

2. GLOSSAIRE ET LISTE DES SIGLES

SYSTÈME D'ALARME	: Système qui avertit automatiquement un exploitant ou un utilisateur de toute anomalie détectée par le système d'auscultation
SYSTÈME D'ACQUISITION AUTOMATIQUE DE DONNÉES (SAAD)	: Système qui collecte des données au moyen d'un enregistreur de données programmable à base de microprocesseur, d'un logiciel, d'appareils de mesure automatiques et de connexions des appareils à l'enregistreur de données
SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE (SAA)	: Système complet d'auscultation qui comprend trois éléments : système d'acquisition automatique de données (SAAD), système de transmission de données (STD) et système de traitement et de gestion de données (STGD)
SYSTÈME CENTRALISÉ	: Système dans lequel tous les appareils de mesure automatiques sont connectés à une seule unité d'auscultation au moyen de câbles
SYSTÈME DE CONTRÔLE CENTRAL DE RÉSEAU (CCR)	: Système informatique unique multitâche : demande/réception automatique de données depuis des unités locales et à distance, traitement et archivage automatiques des données, et mise en œuvre des demandes d'utilisateur concernant des données et/ou un programme en provenance des unités d'auscultation
ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ D'UN BARRAGE	: Évaluation systématique de la sécurité d'un barrage au moyen d'une inspection détaillée et complète des ouvrages, de l'étude de leur comportement, et de l'examen des dossiers initiaux de projet et de construction afin de vérifier qu'ils répondent aux critères courants
INGÉNIEUR DE SÉCURITÉ DE BARRAGE	: Personne qualifiée et autorisée pour effectuer l'évaluation de la sécurité d'un barrage
ENREGISTREUR DE DONNÉES	: Dispositif programmable à base de microprocesseur qui actionne, mesure et stocke (ou enregistre) les sorties d'appareils de mesure. Exploité généralement comme une unité isolée avec chargement de données sur un ordinateur personnel ou un ordinateur de recouvrement à un intervalle spécifié

2. GLOSSARY AND LIST OF ABBREVIATIONS

- ALERT SYSTEM** : a system which automatically warns an operator or user if any unusual activity is detected by the monitoring system
- AUTOMATIC DATA ACQUISITION SYSTEM (ADAS)** : a system which collects data by means of a microprocessor based programmable datalogger, software, automated instruments, and connection from instruments to datalogger
- AUTOMATIC MONITORING SYSTEM (AMS)** : a complete monitoring system which includes three components: Automatic data acquisition system (ADAS), Data transmission system (DTS) and Data processing system (DPS)
- CENTRALIZED SYSTEM** : a system in which all automated instruments are connected to a single monitoring unit via dedicated cables
- CENTRAL NETWORK MONITOR (CNM)** : a single computer system capable of multitasking to include automatic data requesting/receiving from local and remote units, automatic data processing and archiving, and initiating user requests for data and/or program from the monitoring units
- DAM SAFETY ASSESSMENT** : a systematic evaluation of the safety of a dam by means of comprehensive inspection of the structures, assessment of performance, and review of the original design and construction records to ensure that they meet current criteria
- DAM SAFETY ENGINEER** : an individual qualified and authorized to perform the dam safety assessment
- DATALOGGER** : a microprocessor based programmable device which energizes, measures and stores (or records) the output of an instrument. Usually operated as a standalone unit with data uploads to a PC or a laptop computer at a specified interval

ANALYSE DES DONNÉES	: Examen des données précédemment stockées en vue d'obtenir les éléments nécessaires à l'évaluation du comportement d'un ouvrage
VÉRIFICATION DES DONNÉES	: Filtrage des données pour vérifier si elles sont exemptes d'erreurs et sont situées à l'intérieur des limites supérieures et inférieures
ÉVALUATION DES DONNÉES	: Étude du niveau de sécurité d'un ouvrage en se basant sur les données analysées
INTERPRÉTATION DES DONNÉES	: Même définition que « Évaluation des données »
SYSTÈME DE TRAITEMENT ET DE GESTION DE DONNÉES (STGD)	: Système informatique qui assure la vérification, la réduction, le stockage, l'interprétation et la présentation des données collectées par le système d'acquisition automatique de données (SAAD) et transmises par le système de transmission de données (STD). Le système peut fonctionner en ligne ou hors ligne
RÉDUCTION DE DONNÉES	: Conversion mathématique d'une valeur brute en une quantité technique
ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS SUR LES DONNÉES	: Établissement de rapports standard sur les données analysées. Les rapports peuvent inclure des tableaux, des graphiques et du texte
SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES (STD)	: Système destiné à transmettre des données à une station de traitement, ou permettant un contrôle d'un enregistreur de données ou d'une station d'auscultation éloignés depuis un autre emplacement. Le STD peut comprendre des transmissions par câble, radio, micro-onde, fibre optique et satellite
SYSTÈME RÉPARTI	: Système dans lequel un certain nombre d'unités d'auscultation sont réparties dans tout l'ouvrage à des emplacements appropriés. Chaque unité contrôle un groupe d'appareils de mesure automatiques qui lui sont connectés depuis des endroits très proches
QUANTITÉ TECHNIQUE	: Quantité obtenue après conversion de la donnée de sortie de l'appareil de mesure (valeur brute), en fonction de l'étalonnage de l'appareil. Par exemple, une donnée de sortie d'un piézomètre, en milliampère ou en tension, peut être convertie en « quantité technique » : pression ou niveau d'eau

DATA ANALYSIS	: an examination of the previously stored data to obtain those elements required to assess behavior of a structure
DATA CHECKING	: screening of data to check if it is error free and within the high/low thresholds
DATA EVALUATION	: a study of the safety condition of a structure based on the analyzed data
DATA INTERPRETATION	: same as Data Evaluation
DATA PROCESSING SYSTEM (DPS)	: a computer system which checks, reduces, stores, interprets and reports data collected by ADAS and transmitted by DTS. The system can work on-line or off-line.
DATA REDUCTION	: mathematical conversion of a raw value to an engineering quantity
DATA REPORTING	: producing standard reports from the analyzed data. The reports may include tables, graphs and text
DATA TRANSMISSION SYSTEM (DTS)	: a system to send data to a processing station or to allow for control of remote datalogger or monitoring station from another location. DTS may include cable, radio, microwave network, fibre optics and satellite
DISTRIBUTED SYSTEM	: a system in which a number of monitoring units are distributed throughout the structure at convenient locations. Each unit monitors a group of automated instruments connected to it from close proximity
ENGINEERING QUANTITY	: a quantity obtained after converting the instrument output (raw value) according to the instrument calibration. For example, milli-ampere or voltage output of a piezometer may be expressed in « engineering quantity » as pressure or water elevation

SYSTÈME EXPERT	: Système informatique constitué d'une base de connaissances (connaissances codifiées de l'homme expert), d'une machine d'inférence (programme qui conduit le système), d'un programme d'explication (pour établir la confiance de l'utilisateur en répondant à ses questions), d'un programme d'affinement des connaissances (pour permettre la mise à jour du système) et d'un processeur de langage naturel (pour faciliter le dialogue homme-machine). Le système expert reflète le processus de prise de décision d'un spécialiste
APPAREIL DE MESURE	: Dispositif (capteur ou transducteur) capable de mesurer une grandeur physique
DIODE ÉLECTROLUMINESCENTE (DEL)	: Dispositif de semi-conducteur électroluminescent qui émet de la lumière lorsqu'il est traversé par un courant
VALEUR LIMITE	: Valeur faisant fonction de limite. Exemple : limites supérieure et inférieure d'alarme
UNITÉ D'AUSCULTATION LOCALE (UAL)	: Unité d'auscultation installée près d'un système de contrôle central de réseau. La différence entre une unité d'auscultation locale et une unité d'auscultation à distance est superficielle, les deux dispositifs présentant des capacités identiques. Dans beaucoup de barrages, l'unité d'auscultation peut être située au barrage plutôt qu'à proximité d'un système de contrôle central de réseau
SYSTÈME D'ACQUISITION MANUELLE DE DONNÉES	: Système qui collecte des données avec intervention de l'homme
RÉSEAU NEURONAL	: Processeur réparti, massivement parallèle, qui peut acquérir, stocker et utiliser des connaissances fondées sur l'expérience. Les connaissances sont acquises par le réseau neuronal au moyen d'un processus d'instruction (assez semblable au fonctionnement du cerveau humain), plutôt que par acceptation des règles définies par l'homme expert (comme dans le système expert)
TRAITEMENT HORS LIGNE DES DONNÉES	: Séquence de traitement des données par un ordinateur sans connexion directe avec la source des données ; nécessite généralement la présence d'un opérateur
TRAITEMENT EN LIGNE DES DONNÉES	: Séquence automatique de traitement des données par un ordinateur avec connexion directe avec la source des données, habituellement en temps réel; ne nécessite pas, en général, la présence d'un opérateur

EXPERT SYSTEM	: a computer system consisting of a knowledge base (codified knowledge of the human expert), inference engine (program that drives the system), explanation program (to establish user confidence by answering user query), knowledge-refining program (to allow updating of the system) and natural language processor (to facilitate man-machine dialogue). The expert system reflects the decision-making process of a human specialist
INSTRUMENT	: a device (sensor or transducer) able to “measure” a physical quantity
LIGHT-EMITTING DIODE (LED)	: an electroluminescent semiconductor device that emits light when a current is passed through it
LIMITING VALUE	: a value functioning as a limit. Example: high and low alarm limits
LOCAL MONITORING UNIT (LMU)	: a monitoring unit installed close to a Central network monitor. The difference between a LMU and a Remote monitoring unit is superficial as both provide similar capabilities. In many dams, the monitoring unit may be located at the dam rather than close to a Central network monitor but called a LMU
MANUAL DATA ACQUISITION SYSTEM	: a system which collects data by human interaction
NEURAL NETWORK	: a massively parallel distributed processor which can acquire, store and utilize experiential knowledge. Knowledge is acquired by the neural network through a learning process (somewhat similar to the functioning of the human brain) rather than by accepting the rules defined by the human expert (as in an Expert system)
OFF-LINE DATA PROCESSING	: the sequence of processing of the data by a computer without a direct connection with the source of data; generally requires the presence of an operator
ON-LINE DATA PROCESSING	: the automatic sequence of processing of the data by a computer with a direct connection with the source of data, usually in real time; generally does not require the presence of an operator

MANUEL D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN	: Document qui définit des procédés en vue d'une exploitation et d'un entretien fiables d'un système
VALEUR BRUTE	: Sortie d'un appareil de mesure automatique
TRAITEMENT EN TEMPS RÉEL DES DONNÉES	: Séquence automatique de traitement des données par un ordinateur, presque en temps réel, au fur et à mesure que l'ordinateur reçoit les données
UNITÉ D'AUSCULTATION À DISTANCE (UAD)	: Unité d'auscultation installée en un endroit éloigné du site. À noter la différence superficielle entre UAD et UAL
CAPTEUR	: Dispositif conçu pour détecter, mesurer ou enregistrer des phénomènes physiques. Par actionnement manuel ou automatique, il convertit une donnée variable en un signal mesurable
CAPTEUR INTELLIGENT	: Capteur qui incorpore une intelligence à base de capteur et microprocesseur, afin d'actionner, lire, stocker et transmettre les données du capteur en un logiciel unique
LOGICIEL DE CONTRÔLE GÉNÉRAL ET D'ACQUISITION DE DONNÉES (CGAD)	: Logiciel en temps réel qui assure, par télémesure, un contrôle général et automatique à distance, un contrôle de situation et de sécurité, et un enregistrement des opérations
SURVEILLANCE	: Ensemble d'activités (auscultation, inspection, essai <i>in situ</i>) exécutées en vue de contrôler le comportement d'un barrage, d'un glissement, etc.
FICHER TEMPORAIRE	: Fichier informatique où les données sont stockées temporairement avant de les reproduire dans un fichier permanent, avec ou sans modification
TRANSDUCTEUR	: Dispositif qui convertit une variation physique en un signal de sortie correspondant
TRANSMETTEUR	: Dispositif qui transforme une sortie de faible niveau d'un appareil en un signal de niveau élevé transmissible à un site différent pour enregistrement ou traitement
BUS VERSA MODULE EUROCARD (Bus VME)	: Bus de communication de données largement utilisé dans les applications industrielles et militaires

OPERATING AND MAINTENANCE MANUAL	: a document which defines procedures for reliable operation and maintenance of a system
RAW VALUE	: output of an automated instrument
REAL-TIME DATA PROCESSING	: the automatic sequence of processing of the data by a computer almost in real-time as the data is received by the computer
REMOTE MONITORING UNIT (RMU)	: a monitoring unit installed at on-site remote location. Note the superficiality of the term described under LMU
SENSOR	: a device designed to detect, measure or record physical phenomena. On energizing manually or automatically, it converts a variable input into a signal suitable for measurement
SMART SENSOR	: a sensor which incorporates a sensor- and microprocessor- based intelligence to energize, read, store and transmit the sensor data in a single package
SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) SOFTWARE	: a real-time software which provides, through telemetry, remote supervisory and automatic control, status and security monitoring, and operations logging
SURVEILLANCE	: a group of activities (monitoring, inspection, in-situ testing) carried out in order to monitor the behaviour of a dam, slide, etc.
TEMPORARY FILE	: a computer file where data is temporarily stored prior to copying into a permanent file either with or without modification
TRANSDUCER	: a device which converts a physical change into a corresponding output signal
TRANSMITTER	: a device which translates the low level output of a sensor or transducer to a higher level signal suitable for transmission to a different site for recording or processing
VERSA MODULE EUROCARD BUS (VME bus)	: A data communication bus widely used in industrial and military applications

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE BULLETIN

Les sigles ou acronymes suivants sont utilisés dans le Bulletin.

CCR	Système de Contrôle Central de Réseau
CGAD	Contrôle Général et Acquisition de Données
DCC	Dispositif à Couplage de Charge
DEL	Diode Électroluminescente
E&M	Exploitation et Maintenance
GPS	Global Positioning System (Système de Triangulation par Satellites)
IA	Intelligence Artificielle
ISB	Ingénieur de Sécurité de Barrage
OTB	Orbite Terrestre Basse
PTF	Protocole de Transfert de Fichier
RE	Réseau Étendu
RL	Réseau Local
SAA	Système d'Auscultation Automatique
SAAD	Système d'Acquisition Automatique de Données
STD	Système de Transmission de Données
STGD	Système de Traitement et de Gestion de Données
STL	Système de Transmission Locale
STR	Système en Temps Réel
UAD	Unité d'Auscultation à Distance
UAL	Unité d'Auscultation Locale
VME	Bus Versa Module Eurocard
X-25	Format courant pour le transfert de données dans un réseau

LIST OF ABBREVIATIONS USED IN THIS BULLETIN

The following abbreviations or acronyms are referred to in this document.

ADAS	Automatic Data Acquisition System
AI	Artificial Intelligence
AMS	Automated Monitoring System
CCD	Charge Coupled Device
CNM	Central Network Monitor
DPS	Data Processing and Management System
DSE	Data Safety Engineer
DTS	Data Transmission System
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LEO	Low Earth Orbit
LMU	Local Monitoring Unit
LTS	Local Transmission System
O&M	Operation and Maintenance
RMU	Remote Monitoring Unit
RTS	Real Time System
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
VME	VersaModule Eurocard bus
WAN	Wide Area Network
X-25	Common format for data transfer in a network

3. AUSCULTATION - REMARQUES GÉNÉRALES

3.1. OBJECTIFS

Le but principal de l'auscultation d'un barrage est l'obtention d'informations destinées à évaluer, de façon continue, le comportement et la sécurité du barrage. En cours d'exploitation, l'auscultation vise deux objectifs principaux :

- Auscultation à court terme : détection de changements à court terme (anomalies) dans le comportement et l'état du barrage et de la retenue, pouvant affecter la sécurité ou les conditions d'exploitation et nécessiter des actions immédiates, par exemple, exploitation restreinte, réparation, ou (dans les situations exceptionnelles) déclenchement d'alarme (« auscultation à court terme »).
- Auscultation à long terme : détection de changements à long terme (phénomènes éventuels de détérioration) dans l'état et le comportement en vue d'effectuer une évaluation complète et approfondie de la sécurité du barrage et de la retenue (incluant la vérification des paramètres de projet), ce qui peut démontrer la nécessité, dans certains cas, d'exécuter des travaux d'entretien (« auscultation à long terme »).

Ces deux objectifs revêtent une même importance. On pourrait penser que « l'auscultation à court terme » est suffisante pour vérifier la sécurité du barrage mais, en fait, la connaissance du comportement global est souvent nécessaire afin d'expliquer les anomalies détectées par les appareils de mesure. En outre, une dérive lente est parfois aussi importante que des variations brusques, vis-à-vis de la sécurité. Il est ainsi évident que les deux objectifs précités ne sont pas indépendants. Ils correspondent à des échelles de temps différentes dans le traitement des données.

En plus des deux objectifs susmentionnés, un autre but de l'auscultation est de recueillir des informations sur le comportement du barrage au cours de sa construction et du premier remplissage de la retenue, en vue de connaître le comportement réel (mesuré) et de le comparer avec celui prévu au stade du projet, ce qui permet de vérifier les hypothèses de projet. Le nombre de capteurs utilisés et la fréquence des lectures sont souvent plus élevés au cours de cette période que pendant l'exploitation normale (« auscultation pré-exploitation »).

Ces objectifs influencent la conception et le projet du système d'auscultation quant au nombre d'appareils ou dispositifs de mesure, à la fréquence des lectures, au traitement des données et au degré souhaitable d'automatisation. Le Tableau 1 indique ces corrélations.

3. MONITORING - GENERAL REMARKS

3.1. OBJECTIVES

The primary purpose of dam monitoring is to obtain information for assessing continued performance and safety of the dam. During operation, monitoring serves two main purposes :

- Short-term monitoring : Detect short-term changes (anomalies) in the behavior and condition of the dam and reservoir, which might affect safety or operability, respectively, and might require immediate response, e.g. restriction of operation, repair or (in extreme situations) releasing of alert (“ short-term monitoring ”).
- Long-term monitoring : Detect long-term changes (possible deterioration effects) in the condition and behavior in order to carry out a comprehensive assessment of dam and reservoir safety (including verification of design parameters), which eventually might indicate the necessity of maintenance measures (“ long-term monitoring ”).

These two functions are equally important. It may be thought that “ short-term monitoring ” is sufficient to ensure dam safety but, in fact, knowledge of overall behavior is often required in order to explain anomalies detected by the key instruments. Moreover, slow drift can sometimes be just as important for safety as abrupt changes. It is thus evident that these two functions are not independent. They correspond to different data processing time scales.

Another objective of monitoring, besides the two mentioned earlier, is to gather information regarding overall dam behavior during dam construction and first impoundment to assess the actual (measured) behavior for comparison with that predicted by design for verification of the design assumptions. The number of sensors used and the frequency of readings is often higher during this period than during normal operation (“ pre-operation monitoring ”).

These objectives influence the concept and design of the monitoring system regarding the number of instruments or measuring devices, the frequency of reading, the data processing and the desirable degree of automation. Table 1 highlights these correlations.

Tableau 1
Critères d'auscultation

	Catégorie d'auscultation		
	Pré-exploitation	Court terme	Long terme
But	Connaissance du comportement global au cours de la construction et du premier remplissage de la retenue	Évaluation « rapide » de la sécurité et des conditions d'exploitation	Évaluation complète et approfondie de la sécurité
Nombre de capteurs	Grand	Petit	Grand
Fréquence des lectures	Élevée	Élevée	Faible
Traitement des données	Complexe	Simple (statistique, valeurs limites)	Simple à complexe
Degré d'automatisation	Élevé	Élevé	Faible (en partie)

Les distinctions entre ces objectifs se traduisent principalement en termes de méthode de traitement des données, mais aussi en termes de système d'auscultation. En raison de la plus faible quantité de capteurs, les coûts pour l'auscultation automatique sont plus faibles et, en raison de la fréquence de lectures plus élevée, le besoin d'automatisation est plus important pour l'auscultation à court terme que pour l'auscultation à long terme.

3.2. TYPES DE MESURES

Le comportement d'un ouvrage étant défini sous forme de sa réponse aux charges et impacts imposés, les charges intervenant ainsi que les paramètres caractérisant la réponse de l'ouvrage seront mesurés. Le Tableau 2 donne des recommandations sur les paramètres-clés faisant l'objet d'une auscultation automatique.

En ce qui concerne certains paramètres, des normes SAA (Système d'Auscultation Automatique) moins strictes peuvent être acceptables, par exemple, simplification du STGD (Système de Traitement et de Gestion des Données) en vérifiant seulement si un certain paramètre dépasse une limite constante (paramètres n^{os} 3, 4, 9 et 10, ainsi que n^o 5 pour l'ouverture de joints, par exemple), ou en contrôlant seulement la position « ouverte/fermée » d'une vanne (n^o 11), ou en auscultant à distance des capteurs installés dans le corps du barrage (acquisition semi-automatique des données, par exemple, n^{os} 4, 6 et 8).

Un SAA pour la surveillance de la stabilité des versants d'une retenue peut s'avérer utile dans des cas particuliers.

Table 1
Criteria for Monitoring

	Category of Monitoring		
	Pre-operation	Short-term	Long-term
Aim	Knowledge of overall behavior during construction and first impounding	“ Quick ” assessment of safety and operability	Comprehensive assessment of safety
Number of sensors	Large	Small	Large
Reading frequency	High	High	Low
Data processing	Complex	Simple (statistics, limit values, etc.)	Simple to complex
Degree of automation	High	High	Small (partly)

Distinctions between these objectives are primarily made in terms of data processing methods, but also in terms of the monitoring system itself. Due to the smaller amount of sensors, costs for automated monitoring are lower and due to the higher frequency, need for automation is stronger for short-term than for long-term monitoring.

3.2. TYPES OF MEASUREMENTS

As the behavior of a structure is defined as its response to imposed loads and impacts, the relevant loads as well as the parameters which are characteristic for the response of the structure, should be monitored. Table 2 gives general recommendations on the key parameters to be monitored automatically.

Regarding some parameters, lower AMS-standards may be considered feasible, e.g., simplifying DPS by only checking if a certain parameter exceeds a constant limit (parameter nos. 3, 4, 9 and 10 as well as 5 for joint openings as an example) or only monitoring the “ open/close ”- position of a gate (no. 11) or only local remote-monitoring sensors embedded in the dam body (semi automated data acquisition, e.g., numbers 4, 6 and 8).

AMS for monitoring reservoir slope stability may be useful in specific situations.

Tableau 2**Observations et mesures-clés, et recommandations concernant leur automatisation**

N°	Observation ou mesure	Recommandations pour l'automatisation			Degré d'automatisation
		1. prescrite	2. recommandée	3. possible	
		Barrage-voûte	Barrage-poids	Barrage terre/enrochement	
1	Niveau de retenue	1	1	1	SAA total
2	Niveau d'eau aval	1	1	1	SAA total
3	Percolations et fuites – globales	1	1	1	SAA total
4	– zones locales	2	2	1-2	SAA partiel possible
5	Sous-pression, pression interstitielle	2	1-2	1-3	SAA partiel possible
6	Déformation caractéristique	1	1-3	3	VA/PG : SAA total combiné avec n° 1, 7
7	Déformations unitaires	3	3	–	SAA partiel possible
8	Températures				
9	– air	1-2	2	3	TE/ER : SAA partiel possible
10	– eau interne			3	
11	– barrage et fondation	1-2	2	3	
11	– béton	2-3	2-3	–	SAA partiel possible
12	Précipitations	3	3	2-3	SAA partiel possible
13	Retenue : débit entrant/débit sortant	1-3	1-3	1-3	SAA partiel possible
14	Position des vannes des ouvrages d'évacuation	1-3	1-3	1-3	SAA partiel possible
15	Accélération sismique				Suivant la sismicité de la zone du barrage
16	Sécurité (accès)				Automatisation possible
17	Caméra TV	1-3	1-3	1-3	Contrôle de caméra à distance possible
18	Turbidité des percolations	1-3	1-3	1-3	Plus important pour les ouvrages en remblai

Légende : SAA : Système d'auscultation automatique
VA : Barrage-voûte
PG : Barrage-poids
TE : Barrage en terre
ER : Barrage en enrochement

Table 2**Key Observations and Measurements and Recommendations for their Automation**

No.	Observation or measurement	Recommendations for Automation 1: mandatory 2: recommended 3: possible			
		Arch Dam	Gravity Dam	Earth-/ Rockfill Dam	Degree of Automation
1	Reservoir level	1	1	1	Full AMS
2	Tailrace water level	1	1	1	Full AMS
3	Seepage and leakage – overall	1	1	1	Full AMS
4	– local sections	2	2	1-2	Partial AMS possible
5	Uplift, pore-pressure	2	1-2	1-3	Partial AMS possible
6	Characteristic deformation	1	1-3	3	VA/PG full AMS combined with nos. 1,7
7	Strains	3	3	–	Partial AMS possible
8	Temperatures – air	1-2	2	3	TE/ER: Partial AMS possible
9	– internal water			3	
10	– dam and foundation	1-2	2	3	
11	– concrete	2-3	2-3	–	Partial AMS possible
12	Precipitation	3	3	2-3	Partial AMS possible
13	Reservoir in-/ outflow	1-3	1-3	1-3	Partial AMS possible
14	Position of gates, outlets	1-3	1-3	1-3	Partial AMS possible
15	Seismic acceleration				According to seismicity of dam area
16	Security (access)				Automation possible
17	TV camera	1-3	1-3	1-3	Remote camera control possible
18	Seepage turbidity	1-3	1-3	1-3	More important for embankment dams

Legend: AMS : Automated Monitoring System
VA : Arch dam
PG : Gravity dam
TE : Earthfill dam
ER : Rockfill dam

3.3. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONCEPTION

La conception d'un système d'auscultation est basée sur quelques principes simples, tels que les suivants :

- Concentration sur la qualité de l'information et non sur la quantité, en sélectionnant avec soin les paramètres représentant le comportement du barrage, et en donnant la possibilité de vérification par recoupement des données fournies par plusieurs appareils de mesure du même-type ou par différents dispositifs de mesure (redondance) ; la possibilité d'étalonnage et de vérification doit être prévue dans les installations de mesure ;
- Priorité donnée à des paramètres « d'intégration », fournissant des informations sur une zone importante du barrage (par exemple, pendules au lieu de clinomètres) ;
- Anticipation des modifications futures à apporter au système pour l'adapter au champ de variations des valeurs mesurées entre les étapes de construction et d'exploitation, et aussi dans le cas d'un changement du comportement prévu ;
- Choix de capteurs robustes, stables, précis et faciles d'entretien.

3.4. TRAITEMENT DES DONNÉES

Deux méthodes de traitement des données sont à prendre en considération, suivant les objectifs indiqués au chapitre 3.1 :

- Dans le cas d'une auscultation à « court terme », la méthode de traitement simple est souvent largement suffisante ; elle consiste en des représentations graphiques des résultats en fonction du temps ou du niveau de la retenue, en vue de comparer les valeurs mesurées avec des valeurs précédentes incluant celles correspondant à la même période au cours d'années précédentes. Le traitement statistique des données (régression simple ou multiple, moyenne mobile, autocorrélation) est également utilisé et souvent associé à des valeurs limites de déclenchement d'alarme. (Dans le futur, l'application de réseaux neuronaux et de systèmes experts peut devenir réalisable). Très rarement, ces alarmes agissent directement sur les systèmes d'alerte, et sont le plus souvent utilisées pour avertir l'Ingénieur de Sécurité de Barrage. Les avantages de ces méthodes sont la rapidité de traitement, la possibilité de traiter un grand nombre de données et la fiabilité.
- Dans le cas d'une auscultation à « long terme », le traitement des données est encore basée sur des méthodes statistiques, mais il est également possible d'utiliser des méthodes déterministes en vue de comparer les valeurs mesurées avec les prévisions des calculs. L'ampleur de l'analyse et le temps qui y est consacré dépendent des dimensions du barrage et des problèmes de comportement qui se posent. Ces méthodes de traitement nécessitent de bonnes connaissances techniques et, parfois, une grande puissance de calcul.

3.3. GLOBAL DESIGN PRINCIPLES

The design of a monitoring system is based on some simple principles such as the following :

- Concentration on the quality of the information and not the quantity, by carefully selecting the parameters that represent dam behavior, and by providing the possibility of cross-checking between data which have been supplied by several instruments of the same type or by different measurement systems (redundancy). Calibration and checking capability must be designed into instrument installations.
- Giving priority to “ integral ” parameters, which give information covering a significant area of the dam (for example, pendulum instead of clinometers);
- Anticipating future changes to the system, for example to adapt the range of variations of measured data between the construction and operation stages, and also in the event of a change in the predicted behavior; and
- Choosing sensors which are sturdy, stable, accurate and simple to maintain.

3.4. DATA PROCESSING

Two data processing methods are to be considered, according to the objectives of Section 3.1 :

- In the case of «short-term» monitoring, the simpler processing method is often quite sufficient, consisting of graphical representations of results versus time or reservoir level, in order to compare the measured value with preceding measurements including those taken over the same period in previous years. Statistical data processing (simple or multiple regressions, mobile average, autocorrelation) is also used, and often associated with limiting values to trigger alarms. (In the future, application of neural networks and expert systems may become feasible as well.) These alarms very rarely act directly on alert systems, and are more often used to warn the Dam Safety Engineer. The advantages of these methods include high-speed processing, capability of handling large amounts of data and reliability.
- In the case of “ long-term ” monitoring, data processing is still based on statistical methods, but may also use determinist models to compare the measured data with calculation predictions. The depth of analysis and the time spent on it depend on the size of the dam and the behavioral problems involved. These processing methods need expertise and, sometimes, a high computation capacity.

4. APPLICATION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

4.1. NÉCESSITÉ D'AUTOMATISATION

Il est essentiel qu'un maître d'ouvrage définisse les raisons pour lesquelles il souhaite automatiser les procédés d'auscultation. L'automatisation n'est pas une fin en soi et il sera démontré, plus loin dans le Bulletin, que des économies ne sont presque jamais garanties par l'automatisation. En fait, la seule raison objective pour l'installation d'un système d'auscultation à distance est l'amélioration de la qualité et de la fiabilité d'un système d'auscultation classique. Ces améliorations, rendues possibles par les progrès dans les domaines de l'électronique, des ordinateurs et de la transmission à distance, peuvent concerner tout ou partie des fonctions d'auscultation.

Pour la partie « à court terme » du processus d'auscultation, le but de l'auscultation à distance est de fournir aux exploitants des mesures de qualité, exécutées à fréquence élevée. Cela permet de détecter des anomalies très rapidement et avec un niveau élevé de fiabilité et, dans de telles circonstances, de prendre les dispositions utiles pour alerter l'Ingénieur de Sécurité de Barrage, augmenter la fréquence des mesures, déclencher les alarmes, etc.

Pour la partie à « long terme », le but de l'auscultation à distance est de fournir des mesures de qualité concernant un grand nombre de capteurs, à des fréquences qui peuvent être adaptées suivant les phénomènes à étudier de façon plus détaillée (variations du niveau de retenue, cycles thermiques, etc.).

Les principaux arguments pour l'installation d'un système automatique sont les suivants :

- Des capteurs automatiques augmentent beaucoup la qualité des mesures qui ne sont plus sujettes à des erreurs humaines de lecture ;
- Des phénomènes variant rapidement peuvent être mesurés ;
- Amélioration et accélération de la détection des anomalies, afin d'accroître le niveau du contrôle de la sécurité ;
- Difficulté d'accès au barrage, ou même impossibilité d'accès, en raison de conditions climatiques extrêmes ;
- Comportement particulier du barrage nécessitant une surveillance attentive avec un grand nombre de mesures, ou une fréquence élevée de lectures ;
- Très grands barrages, avec des dispositifs d'auscultation comportant un grand nombre de capteurs et conduisant donc à de longs temps de mesure ;
- Considérations d'exploitation, en particulier présence ou non d'une équipe permanente sur le barrage ;
- Autres considérations : politiques, environnementales, etc.

4. APPLICATION OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS

4.1. NEED FOR AUTOMATION

It is essential for an owner to define the reasons for which he wishes to automate monitoring procedures. Automation is not an end in itself, and it will be demonstrated later in this Bulletin that economic savings are almost never guaranteed by automation. In fact, the only objective reason for installing a remote monitoring system is to improve the quality and reliability of a classic monitoring system. These improvements, made possible through advances in electronics, computing and remote transmission, may concern some or all of the monitoring functions.

For the “ short-term ” part of the monitoring process, the purpose of remote monitoring will be to provide operators with quality measurements taken at a high frequency. This enables anomalies to be detected very quickly and with a high degree of reliability and, in such cases, to take the necessary steps to alert the Dam Safety Engineer, increase measurement frequency, trigger alarms and so on.

For the «long-term» part, the purpose of remote monitoring will be to provide quality measurements concerning a larger number of sensors, with frequencies that can be adapted according to the phenomena to be studied in more detail (variation in the storage level, thermal cycles, etc.).

The main arguments for the installation of an automated system are as follows:

- Automated sensors greatly increase the quality of the measurements, which are no longer subject to human reading errors;
- Rapidly changing phenomena can be measured;
- Improvement and acceleration of anomaly detection, in order to enhance the level of safety surveillance;
- Difficulty of access to the dam, or even impossibility of access, due to extreme weather conditions;
- Particular behavior of the dam requiring attentive monitoring with a large number of measurements, or high frequency of readings;
- Very large dams, with monitoring facilities involving a large number of sensors and hence a long measuring time;
- Operating considerations, in particular whether or not there is a permanent team on the dam; and
- Other considerations: political, environmental, etc.

Les méthodes d'analyse détaillée sont identiques à celles utilisées dans le cas de l'auscultation manuelle, mais la qualité des mesures rend ces analyses plus pertinentes et plus précises. En outre, les systèmes automatiques permettent un choix beaucoup plus souple des fréquences des mesures (par exemple, mesures pouvant être prises à 2 heures du matin afin d'éviter les perturbations thermiques de jour).

4.2. NOMBRE D'APPAREILS À AUTOMATISER

Dans bien des cas, un système entièrement automatique ne peut être réalisé de manière économique. Néanmoins, quelques maîtres d'ouvrage choisissent cette solution pour des raisons pratiques, lorsque les coûts supplémentaires sont raisonnables, ou pour une raison de qualité, en particulier pour les nouveaux barrages et ceux présentant un comportement inhabituel.

Dans le cas d'un système automatique destiné principalement à l'auscultation « à court terme », les capteurs-clés à inclure dans le système d'auscultation automatique doivent être sélectionnés. Par exemple, bien qu'un barrage en remblai soit équipé de piézomètres dans toute sa section, il sera probablement nécessaire d'automatiser seulement les piézomètres-clés indiquant les problèmes de stabilité le long d'une surface de rupture critique. Une partie importante d'un projet de système automatique est le choix des appareils de mesure-clés à automatiser. La sélection de ces appareils doit prendre en considération non seulement la phase de remplissage initial de la retenue, mais aussi les conditions à long terme d'état permanent. Un aspect-clé de comportement au cours d'une phase peut être remplacé par un autre au cours d'une phase ultérieure, et l'automatisation doit répondre à ces nécessités de changement.

Le relevé des capteurs observés moins fréquemment, utilisés pour l'auscultation « à long terme », est effectué manuellement. Souvent, ces acquisitions de données sont réalisées suivant un procédé semi-automatique, par exemple par un opérateur utilisant un échantillonneur manuel de données et une identification de capteurs par code barres. De toute façon, il importe de ne pas oublier, par la suite, de transférer toutes les mesures des systèmes manuels et à distance vers une base de données unique et cohérente.

4.3. BARRAGES EXISTANTS ET NOUVEAUX

Lorsque des études d'automatisation sont entreprises, on profite de l'occasion pour redéfinir, parfois en profondeur, le dispositif d'auscultation d'un barrage existant. Les types d'appareils de mesure, leurs âge et conditions physiques, les paramètres physiques auscultés, les emplacements possibles à l'intérieur de l'ouvrage, conduisent parfois à des options limitées de projet. Les données provenant des appareils existants peuvent nécessiter un conditionnement supplémentaire ou un traitement spécial en vue de l'automatisation, étant donné que les appareils avaient été conçus pour une auscultation manuelle (voir Bulletin n° 87).

The comprehensive analysis methods are the same as in the case of manual monitoring, but the quality of the measurements make these analyses more relevant and more accurate. In addition, automated systems provide a more flexible choice of measurement frequencies. For example, measurements can be taken at inconvenient times such as 2.00 in the morning in order to avoid daytime thermal disturbance.

4.2. NUMBER OF INSTRUMENTS TO BE AUTOMATED

In many cases, a fully automated system may not be economically feasible. Nevertheless, some owners choose this solution for practical reasons, when the supplementary costs are reasonable, or for quality reason, in particular for new dams and those exhibiting an unusual behavior.

For an automated system aimed primarily at «short-term» monitoring, the key sensors to be included in the automated monitoring system must be selected. For example, although an embankment dam has piezometers throughout its section, it would probably be necessary to automate only key instruments indicating stability problems along a critical failure surface. An important part of automation system design is to select the key instruments to be automated. The selection of key instruments should consider not only the initial filling stage but also long-term, steady-state conditions. A key aspect of performance during one stage may be replaced by another at a later stage, and automation must respond to these changing needs.

The reading of less frequently observed sensors used for the “ long-term ” monitoring is made manually. Often these data acquisitions are done in a semi-automated way, for example by an operator using a hand held data sampler and bar code identification of sensors. In any case, it is important to remember subsequently to include all the measurements from the remote and manual systems in a single, coherent database.

4.3. EXISTING AND NEW DAMS

When automation studies are carried out, the opportunity is generally taken to redefine the monitoring system of an existing dam, sometimes in great depth. The types of instruments and their age and physical condition, the physical properties monitored, and possible locations within the structure may provide limited design options. The output from existing instrumentation may require additional conditioning or special processing in order to be automated since the instruments were designed to be monitored manually (see Bulletin No. 87).

Une plus grande souplesse existe pour introduire un SAA (Système d'Auscultation Automatique) lors du projet d'un nouveau barrage. Les appareils de mesure, le dispositif de conditionnement des données, et leurs emplacements peuvent être déterminés en vue de tirer tous les avantages de l'automatisation. Les études de projet peuvent s'étendre aux prévisions de comportement critique et les emplacements des appareils-clés peuvent être déterminés pour ausculter ces zones critiques. La plupart des types d'appareils peuvent être testés in situ et étalonnés au cours de leur installation pour vérifier qu'ils fonctionnent correctement. En outre, l'installation des appareils au cours de la construction permet d'obtenir des données sur le comportement du barrage et de sa fondation au cours de la construction et du remplissage initial de la retenue. Le système automatique permet des lectures plus fréquentes, une réduction des données, et une évaluation au cours de la période critique du remplissage initial et des premières années d'exploitation. Le supplément de surveillance et de vérification des hypothèses de projet peut contribuer à justifier le coût additionnel d'investissement lié à un système automatique.

4.4. INSPECTION VISUELLE

Une auscultation automatique ne suffit pas à elle seule pour le contrôle de la sécurité d'un barrage, qui est un processus à composantes multiples, comme déjà indiqué précédemment (voir chapitre 1.3, Fig. 1). Avec l'automatisation, les ressources humaines peuvent être déplacées de l'acquisition de routine des données vers la gestion, l'analyse et l'évaluation de celles-ci. La nécessité d'un programme de vérifications manuelles et d'inspections visuelles n'est pas réduite par l'adoption de l'automatisation.

Récemment, quelques barrages ont été équipés de caméras TV pour le contrôle visuel à distance d'ouvrages et de dispositifs d'exploitation. Cependant, cela ne peut remplacer, en aucune façon, l'inspection visuelle de toutes les parties accessibles du barrage et de la retenue par une personne qualifiée.

4.5. AVANTAGES ET LIMITATIONS

Un des avantages majeurs d'un système d'auscultation à distance est d'éviter des limitations d'accès liées aux conditions atmosphériques (hivers rigoureux, crues, orages, etc.) et des problèmes de disponibilité d'équipes d'intervention dans le cas d'incidents imprévus.

Un deuxième avantage important est la souplesse dans la lecture des capteurs. Un système d'auscultation à distance permet le choix de différents intervalles de lecture pour différents capteurs, si nécessaire, et, en particulier, le changement de fréquences si le besoin se fait sentir. Par exemple, avec un système automatique, un glissement imminent de terrain d'appui, indiqué par certains piézomètres et extensomètres, peut être mieux contrôlé en réduisant l'intervalle de lecture des appareils. Avant que des problèmes surviennent, des valeurs limites peuvent être prédéterminées pour les appareils de mesure critiques, afin de fournir des mises en garde automatiques. Le système est utilisable pour déclencher des alarmes ou lancer un message d'avertissement à distance.

Much greater flexibility is available for including an AMS in the design of a new dam. Measurement devices, data conditioning equipment, and their physical locations can be specified to facilitate and take advantage of the opportunities provided by automation. Design analyses can be extended to make predictions of critical instrument performance and key instruments can be located to monitor those critical areas. Most types of instruments may be field tested and calibrated during installation to ensure that they are functioning properly as installed. In addition, the installation of instruments during construction can provide data on the performance of the dam and its foundations during construction and initial reservoir filling. The automated system can allow for more frequent readings, data reduction, and evaluation during the critical initial filling and first years of operation. The additional surveillance and verification of design assumptions can help justify the additional capital cost of an automated system.

4.4. VISUAL INSPECTION

Automated monitoring alone is not sufficient for the safety surveillance of a dam, which is a multi-component process, as already defined above (see Section 1.3, Fig. 1). With automation, human resources can be shifted from routine data acquisition to management, analysis and evaluation of the data. The need for a thorough, regularly scheduled manual check and visual inspection program is not diminished by automation.

Recently, some dams have been equipped with TV cameras for remote visual monitoring of operation facilities and structures. However, this by no means replaces the visual inspection of all accessible parts of the dam and reservoir carried out by a qualified person.

4.5. ADVANTAGES AND LIMITATIONS

One of the biggest advantages of a remote monitoring system is to avoid all access limitations linked to weather conditions (harsh winters, floods, storms, etc.), and problems of availability of operation teams in the event of unforeseen incidents.

A second essential advantage is the flexibility in reading sensors. A remote monitoring system enables different intervals to be chosen for different sensors, if necessary and, in particular, to be altered should the need arise. For example, with an automated system, an indication of an imminent abutment landslide by certain piezometers and extensometers can be monitored more closely by reducing the reading interval of the instruments. Before problems arise, threshold values can be predetermined for critical instruments to provide automatic warnings. The system could be used to trigger alarms or initiate a remote warning message.

Cependant, un système d'auscultation à distance n'a pas que des avantages et il est essentiel d'être conscient de ses limitations.

La première limitation est le risque élevé d'accorder trop de confiance à un tel système, ce qui peut conduire les exploitants à négliger les inspections visuelles périodiques ainsi que l'analyse des données. Il est extrêmement important de se rappeler que le contrôle à distance ne rend pas les analyses moins importantes et que l'intervention humaine, avec son approche critique, demeure indispensable. L'importance vitale des inspections visuelles, sur le plan de la sécurité, a déjà été mentionnée.

De même, la grande souplesse des mesures peut produire des données en excès susceptibles de ne pas être traitées correctement, ce qui peut s'avérer inefficace pour la détection des anomalies et la mise en œuvre de mesures appropriées.

Bien que des erreurs humaines de lecture soient éliminées par l'automatisation, des problèmes électroniques peuvent rendre erronées des données provenant d'appareils automatiques. Des mesures d'assurance qualité doivent être appliquées à toutes les données fournies par les appareils de mesure pour garantir que les décisions relatives à la sécurité sont basées sur des données fiables. Un soin attentif porté à l'assurance qualité permettra aussi une identification plus rapide des éléments nécessitant un entretien ou un remplacement.

Malgré les progrès constants réalisés dans les domaines des capteurs et des télétransmissions, il est toujours essentiel d'avoir la possibilité d'exploiter manuellement un système d'auscultation automatique. Étant donné que la sécurité du barrage est en jeu, on ne peut compter uniquement sur les appareils de mesure. En d'autres termes, il doit être possible d'exécuter manuellement des relevés des capteurs (des vérifications de cohérence entre mesure manuelle et mesure automatique seront effectuées à intervalles réguliers), et de saisir manuellement les données sur ordinateur, ou, dans des cas exceptionnels, de les traiter manuellement.

Enfin, les réductions de coût de personnel pour l'exécution des mesures et le traitement des données sont, en général, largement effacées par le coût des entretiens et des vérifications périodiques, s'ajoutant, bien entendu, au coût initial du système. En d'autres termes, l'automatisation d'un système d'auscultation de barrage n'est certainement pas une démarche à entreprendre en ne songeant qu'à des objectifs économiques.

Un résumé de certains aspects à prendre en compte lors d'une décision portant sur l'automatisation d'un système d'auscultation d'un barrage est présenté dans le Tableau 3. Les avantages et limitations de l'automatisation doivent être estimés avec soin.

However, remote monitoring does not only have advantages, and it is essential to be aware of its limitations.

The first limitation is a high risk of having too much confidence in this type of system, which could lead to operators neglecting both periodic visual inspections and data analysis. It is absolutely vital to remember that the remote monitoring of data does not make analyses any less important, and that human intervention, with its critical approach, remains indispensable. The vital importance of visual inspection for safety reasons has already been mentioned.

Similarly, the high flexibility of instrument examination may produce excessive data, which cannot be processed correctly and this may prove inefficient for detecting anomalies and taking the appropriate steps.

Although human reading errors are eliminated by automation, a range of electronic problems can produce erroneous data from automated instrumentation. Quality assurance measures must be applied to all instrument data to insure dam safety decisions are based on reliable data. Careful attention to quality assurance will also allow quicker identification of components requiring maintenance or replacement.

In spite of the constant progress being made in sensors and remote transmission, it is still essential to be able to operate an automated monitoring system manually. Since dam safety is at stake, one cannot rely solely on instruments. In other terms, it must be possible to take sensor readings manually (manual measurement/automated measurement coherence checks must be carried out at regular intervals), and it must be possible to key in data manually into computers or, in extreme cases, process them manually.

Finally, reductions in staff costs for taking measurements and processing data are in general greatly outweighed by maintenance and periodic checks, in addition, of course, to the initial cost of the system. In other words, automating a dam monitoring system is certainly not a step to be undertaken with only economic objectives in mind.

A summary of some of the issues to be considered when deciding whether to automate the instrumentation in a dam is provided in Table 3. The advantages and limitations of automation must be carefully weighed up.

Tableau 3**Résumé des avantages et inconvénients d'une automatisation**

Avantages	Inconvénients
Obtention immédiate de données provenant d'emplacements éloignés ou inaccessibles; des données peuvent être obtenues à tout moment et ne sont pas limitées par les conditions climatiques.	Remplacement d'un ingénieur ou d'un observateur bien au courant par du matériel informatique (il est fort possible que des observations visuelles ne seront pas effectuées, que d'autres facteurs influençant les données mesurées ne seront pas enregistrés et que d'autres informations causales ne seront donc pas disponibles). Perte de familiarité avec le barrage.
Les erreurs de lecture et d'enregistrement sont moins nombreuses et immédiatement détectables.	Nécessité de dispositifs de lecture et d'enregistrement manuels de secours.
Le stockage électronique des données est dans un format convenant à l'analyse et à l'impression directes informatisées.	Possibilités de générer un excès de données, encourageant une attitude « classer et oublier », et donc de faillir à prendre des mesures opportunes en réponse aux données.
Souplesse accrue dans le choix des données requises, facilité de changer la période des lectures et des données enregistrées.	Complexité et dégâts susceptibles d'être causés par les conditions climatiques, par les travaux de construction ou par des actes de vandalisme.
Sensibilité et précision de lecture accrues ; mesures de variations rapides, d'impulsions et de vibrations.	Nécessité d'une source d'énergie fiable et continue. Possibilité d'acceptation aveugle des données.
Réduction des coûts de personnel pour la lecture des appareils et l'analyse des données.	Coût d'installation initiale élevé et coût d'entretien souvent élevé.
	Nécessité de vérifications, d'étalonnage et d'entretien réguliers <i>in situ</i> par du personnel spécialisé. Nécessité de personnel très qualifié en informatique et en télécommunication.
	Justification très peu probable sous l'aspect économique seul.

Table 3
Summary of Advantages and Disadvantages of Automation

Advantages	Disadvantages
Immediate retrieval of data from remote or inaccessible locations, data can be obtained at any time and are not limited by weather conditions.	Replacement of a knowledgeable observer or engineer by an item of hardware (there is a real possibility that visual observations will not be made, that other factors influencing measured data will not be recorded, and that causal information will therefore not be available). Loss of familiarity with the dam
Recording and reading errors are fewer and immediately recognizable.	Need for manual back-up reading and recording arrangements.
Electronic data storage is in a format suitable for direct computer analysis and printout.	Possibility of generating excess data, encouraging a “ file and forget ” attitude, and therefore failing to take timely action in response to data.
Increased flexibility in selecting required data, easy to vary the period of readings and recorded data.	Complexity, susceptibility to damage caused by weather conditions, construction activity or vandalism.
Increased reading sensitivity and accuracy; measurements of rapid fluctuations, pulsations and vibrations.	Need for a reliable and continuous source of power. Possibility of blind acceptance of data.
Reduced personnel costs for reading instruments and analyzing data.	High initial implementation cost and often high maintenance cost.
	Need for regular field checks, calibration and maintenance by specialized personnel. Need for highly qualified computer and telecommunication personnel.
	Unlikely to be justified by economics alone.

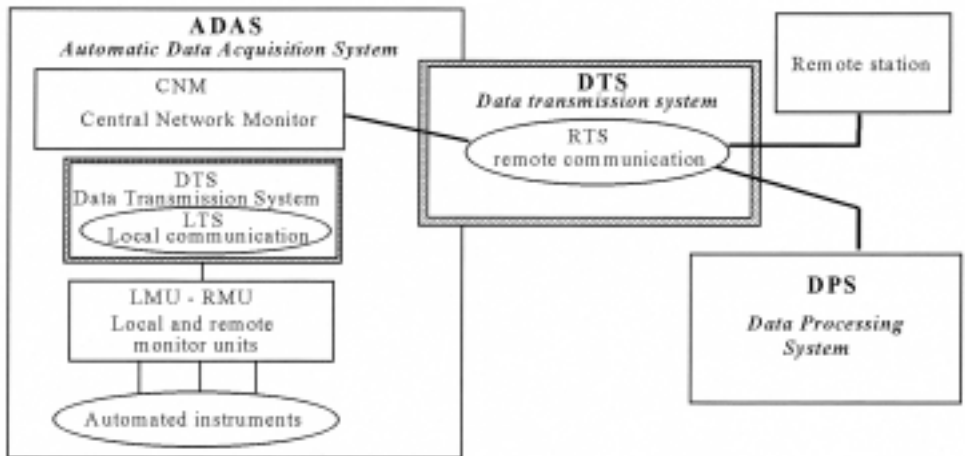
5. DESCRIPTION DE SYSTÈMES D'AUSCULTATION

Un système type destiné à l'auscultation automatique du comportement des barrages est décrit en détail ci-après, sous l'angle de sa fonction et de sa configuration.

En outre, des systèmes spéciaux pour l'auscultation des phénomènes sismiques et la surveillance anti-intrusion sont brièvement examinés au chapitre 5.4 en vue de présenter une synthèse complète des systèmes d'auscultation disponibles.

5.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

La Fig. 2 illustre la structure d'un système type d'auscultation automatique destiné au contrôle du comportement d'un barrage.



Comme on peut le constater sur la Fig. 2, un SAA (système d'auscultation automatique) est constitué d'un certain nombre de sous-systèmes ou modules, à savoir :

- Appareils de mesure automatiques avec signaux de sortie électriques : pour la détection des phénomènes physiques à contrôler;
- Unités d'auscultation locale ou à distance (UAL, UAD) : pour la fourniture d'énergie aux appareils, l'échantillonnage, la digitalisation des mesures et le pré-traitement éventuel des données;

5. DESCRIPTION OF MONITORING SYSTEMS

A typical system for automatic monitoring of the behavior of dams is described in detail below from the standpoint of both its function and configuration.

In addition, special systems for monitoring seismic events and for anti-intrusion surveillance are briefly reviewed in Section 5.4 in order to give a complete overview of available dam monitoring systems.

5.1. GENERAL DESCRIPTION OF AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM

Fig. 2 illustrates the structure of a typical automated monitoring system for the behavior control of a dam.

Fig. 2

AMS – Automatic Monitoring System
SAA – Système d’Auscultation Automatique

ADAS	Automatic Data Acquisition System	<i>SAAD</i>	<i>Système d’acquisition automatique de données</i>
CNM	Central Network Monitor	<i>CCR</i>	<i>Système de contrôle central de réseau</i>
DTS	Data Transmission System	<i>STD</i>	<i>Système de transmission de données</i>
LTS	Local Transmission System	<i>STL</i>	<i>Système de transmission locale</i>
	Local communication		<i>Communication locale</i>
LMU	Local Monitoring Unit	<i>UAL</i>	<i>Unité d’auscultation locale</i>
RMU	Remote Monitoring Unit	<i>UAD</i>	<i>Unité d’auscultation à distance</i>
Automated instruments			<i>Appareils automatiques</i>
RTS	Real Time System	<i>STR</i>	<i>Système en temps réel</i>
	Remote communication		<i>Communication à distance</i>
Remote station			<i>Station à distance</i>
DPS	Data Processing System	<i>STGD</i>	<i>Système de traitement et de gestion de données</i>

As can be seen in Fig. 2, an AMS is made up of a number of sub-systems or modules, namely :

- Automated measuring instruments with electrical output signals : for detecting the physical phenomena being monitored;
- Local or Remote Monitoring Units (LMU, RMU) : for the instrument power supply, sampling, digitization of measurements and possible pre-processing of the data;

- Liaisons de communication locale et système de transmission de données à distance (STL, STD);
- Système de contrôle central de réseau (CCR) avec logiciel de contrôle général et d'acquisition de données (CGAD) : pour le contrôle des opérations d'auscultation, la collecte des données, les vérifications en ligne et le traitement des données suivant un format adapté à la procédure d'analyse ultérieure;
- Système de traitement et de gestion de données (STGD) pour la réduction, l'analyse, la présentation et l'archivage des données.

Chacun des modules susmentionnés n'est pas nécessairement une composante « physique » différente du système. Les distinctions concernent plutôt les fonctions qu'ils remplissent dans l'ensemble du système.

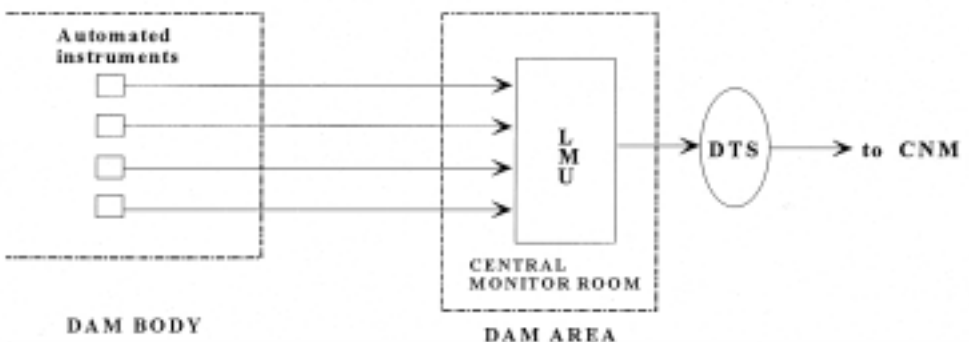
5.2. CONFIGURATION D'UN SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

La configuration d'un SAA dépend de l'emplacement où doit se situer le dispositif d'acquisition de données et de l'emplacement où l'utilisateur effectuera le contrôle du système et le traitement des données de mesure.

Les unités d'auscultation dans le système d'acquisition automatique de données (SAAD) peuvent être soit centralisées, soit réparties, suivant la philosophie de conception du système. Le système de contrôle central de réseau (CCR) et le système de traitement et de gestion de données (STGD) peuvent être installés soit sur le site du barrage, soit à un emplacement éloigné.

5.2.1. Système centralisé d'acquisition de données

Dans un système centralisé (Fig.3), chaque appareil automatique est connecté, par son propre câble, à une unité d'auscultation locale qui est installée dans un local central d'auscultation, généralement situé près du barrage.



- Local communication links and remote Data Transmission Systems (LTS, DTS);
- Central Network Monitor (CNM) with Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) software : for the control of the monitoring activities, the collection of data, the on-line checks and their processing into a format suited to the subsequent analysis procedure; and
- A Data Processing and Management System (DPS) for further data reduction, analysis, presentation and archiving of data.

Each of the items described above is not necessarily a different “ physical ” component of the system. The distinctions are rather related to the function they perform in the overall system.

5.2. CONFIGURATION OF AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM

The configuration of the AMS depends primarily on where the data acquisition equipment is to be located and where the user will be controlling the system and processing the measurement data.

The monitoring units in the ADAS can be either centralized or distributed depending on the system design philosophy. The CNM and DPS can be installed either at the dam site or at a remote location. The configuration of a monitoring system determines its reliability and cost.

5.2.1. Centralized Data Acquisition System

In a centralized system, Fig. 3, each automated instrument is connected, by means of its own dedicated cable, to a single Local Monitoring Unit that is installed in a central monitor room, generally near the dam.

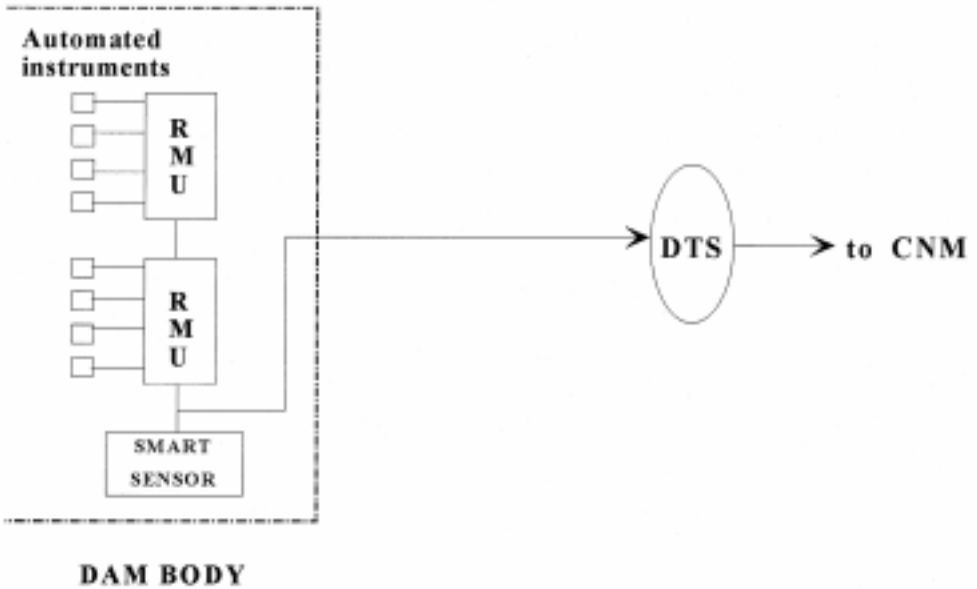
Fig. 3

ADAS Configuration : “ Centralized ” Monitoring Units
*Configuration d'un système d'acquisition automatique de données (SAAD) :
 Unités d'auscultation « centralisées »*

Dam body	<i>Corps du barrage</i>
Automated instruments	<i>Appareils de mesure automatiques</i>
Dam area	<i>Zone du barrage</i>
Central monitor room	<i>Local central d'auscultation</i>
LMU (Local Monitoring Unit)	<i>UAL (Unité d'auscultation locale)</i>
DTS (Data Transmission System)	<i>STD (Système de transmission de données)</i>
CNM (Central Network Monitor)	<i>CCR (Système de contrôle central de réseau)</i>

5.2.2. Système réparti d'acquisition de données

Dans un système réparti (Fig. 4), un certain nombre d'unités d'auscultation à distance (UAD) sont installées à divers emplacements sur le site du barrage, près des groupes d'appareils de mesure. Les longueurs de câbles reliant les capteurs aux modules d'acquisition de données sont réduites, les risques de parasites électriques et de dégâts causés par la foudre ou d'autres surtensions électriques étant ainsi diminués.



Chaque unité d'auscultation a comme fonction de convertir les signaux de mesure provenant des appareils en valeurs digitales. Une fois convenablement codées, formatées et enregistrées, les données peuvent être transmises au système de contrôle central de réseau au moyen d'une ligne téléphonique, d'un câble coaxial, d'une fibre optique ou d'une liaison radio.

L'acceptation progressive de capteurs intelligents et d'unités de mesures programmables conduit à la définition de deux sous-systèmes dans le concept général de systèmes répartis :

- systèmes répartis avec fonctions intelligentes centralisées;
- systèmes répartis avec fonctions intelligentes réparties.

Dans le premier cas, le contrôle général du système est effectué par le système de contrôle central de réseau qui envoie aux unités d'auscultation périphériques les commandes d'exécution des fonctions individuelles de collecte de données.

Dans le deuxième cas, après un réglage initial lorsque le système est mis en marche, les unités d'auscultation périphériques contrôlent de façon autonome les processus de collecte et d'enregistrement des données, et assurent la transmission des données seulement sur la demande provenant du système de contrôle central de réseau.

5.2.2. Distributed Data Acquisition System

In a distributed system, Fig. 4, a number of Remote Monitoring Units are installed at various locations at the dam site, and close to groups of measuring instruments. The length of cables connecting the sensors to the data acquisition modules are minimized, thus the risk of electrical noise and damage from lightning or other electrical surges is consequently reduced.

Fig. 4

ADAS Configuration : “ Distributed ” Monitoring Units

*Configuration d'un système d'acquisition automatique de données (SAAD) :
Unités d'auscultation « réparties »*

Dam body	<i>Corps du barrage</i>
RMU (Remote Monitoring Unit)	<i>UAD (Unité d'auscultation à distance)</i>
Smart sensor	<i>Capteur intelligent</i>
DTS (Data Transmission System)	<i>STD (Système de transmission de données)</i>
CNM (Central Network Monitor)	<i>CCR (Système de contrôle central de réseau)</i>

Each monitoring unit has the function of converting the measurement signals received from the instruments into a digital form. Once suitably coded, formatted and recorded, the data can be transmitted to a Central Network Monitor by a single medium that may be a telephone line, a coaxial network cable, an optical fiber or a radio channel.

The progressive acceptance of smart sensors and programmable measurement units results in the definition of two sub-systems within the general concept of distributed systems. These are :

- distributed systems with centralized intelligent functions; and
- distributed systems with distributed intelligent functions.

In the first case, the general control of the system is undertaken by the Central Network Monitor which sends to the peripheral monitoring units the commands to execute the individual data collection functions.

In the second case, after an initial set-up when the system is started up, the peripheral monitoring units autonomously control the data collection and recording processes, and transmit the data only on request from the CNM.

5.2.3. Comparaison des différentes configurations de systèmes

Le Tableau 4 résume les évaluations de performance, de fiabilité et de coût de chaque configuration décrite.

Tableau 4
Considérations générales sur les configurations des systèmes d'auscultation automatique

Type de système	Performances	Fiabilité		Coûts	Observations diverses
		Générale	Transmission des signaux et des données		
Acquisition et contrôle centralisés	Bon niveau Faible extensibilité Problèmes en cas de changement de configuration	Normale (Le site central est un élément critique)	Normale (Problèmes dus à des phénomènes d'induction et à la foudre)	Élevé (câblage et câbles)	Des signaux analogiques sont transmis, un seul canal porteur doit être prévu pour chaque signal. Si l'unité centrale tombe en panne, la défaillance du dispositif est totale
Acquisition répartie et contrôle intelligent centralisé	Niveau élevé Facilement extensible Reconfiguration facile	Niveau élevé	Niveau élevé	Faible (câblage simple)	Seuls des signaux digitaux sont transmis, un canal porteur commun peut être prévu pour tous les signaux
Acquisition répartie et contrôle intelligent réparti	Niveau élevé Facilement extensible Reconfiguration facile	Niveau très élevé	Niveau élevé	Moyen (câblage simple avec procédés plus sophistiqués de communication des données et coût plus élevé pour les unités périphériques)	Seuls des signaux digitaux sont transmis, un canal porteur commun peut être prévu pour tous les signaux Amélioration de la gestion de l'entretien et de l'étalonnage. Exploitation des capteurs intelligents et des unités intelligentes avec rapport automatique sur l'efficacité du système

5.2.3. Comparison of Different System Configuration

Table 4 summarizes the performance, reliability and cost evaluations of each configuration described.

Table 4
General Consideration about Configuration of Automated Monitoring Systems

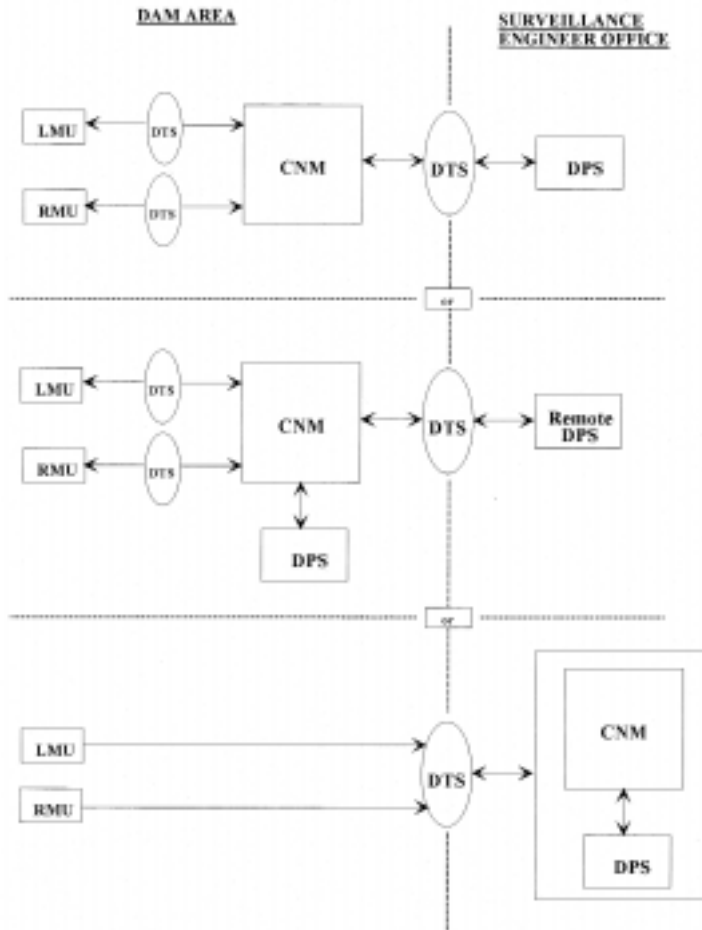
System Layout	Performances	Reliability		Costs	Miscellaneous
		General	Signal and data Transmission		
Centralized acquisition and control	Good level Poor expandability Problems in case of configuration changes	Normal (The central site is a critical element)	Normal (Problems due to inductive and lightning surges)	High (wiring and cables)	Analog signals are transmitted, a single carrier must be provided for each signal. If central unit fails, everything goes down
Distributed acquisition and Centralized smart control Function	High level Easily expandable Easy reconfiguring features	High level	High level	Low (simple wiring layout)	Only digital signals are transmitted, a common carrier can be provided for all the signals.
Distributed acquisition and Distributed smart control Function	High level Easily expandable Easy reconfiguring features	Very high level	High level	Medium (simple wiring layout with more sophisticated data communication procedures and higher cost for peripherals unit)	Only digital signals are transmitted, a common carrier can be provided for all the signals. Improved capability for management of maintenance and calibration. Operational status of smart sensors and smart units with automatic report about system effectiveness.

5.2.4. Emplacement du système de contrôle central de réseau et du système de traitement de données

Deux emplacements principaux peuvent être identifiés pour l'installation du système de contrôle central de réseau (CCR) et du système de traitement et de gestion de données (STGD) :

- Dans un local d'auscultation sur le site du barrage. Dans ce cas, le matériel sera, en général, situé dans la maison du gardien, dans la salle de commande de l'usine, ou dans un local à l'intérieur du corps du barrage ;
- Dans le bureau de l'ingénieur de surveillance ou au siège du maître d'ouvrage. Dans ce cas, le système de contrôle central de réseau et le système de traitement et de gestion de données seront installés à un emplacement éloigné du barrage.

Suivant l'emplacement possible et le mode d'exploitation du système, différentes configurations de système peuvent être identifiées comme l'indique la Fig. 5.



5.2.4. Central Network Monitor and Data Processing System Location

Two main locations can be identified for installing the CNM and DPS :

- In a local monitoring room at the dam site. In this case the equipment would generally be located in the Warden's house, in the power house control room or in a room in the dam body;
- In the Surveillance Engineer's office or at the owners headquarters. In this case the CNM and DPS would be installed at a remote location relative to the dam.

Depending on the possible location and how the system is to be operated, different system layouts can be identified as illustrated in Fig. 5.

Fig. 5

AMS Configurations : Alternate Locations for the Central Network Monitor and Data Processing System

Configurations d'un système d'auscultation automatique (SAA) : Emplacements possibles pour le système de contrôle central de réseau et le système de traitement et de gestion de données

Dam area

Surveillance engineer office

LMU : Local Monitoring Unit

RMU : Remote Monitoring Unit

DTS : Data Transmission System

CNM : Central Network Monitor

DPS : Data Processing System

Remote DPS

Zone du barrage

Bureau de l'ingénieur de surveillance

UAL : Unité d'auscultation locale

UAD : Unité d'auscultation à distance

STD : Système de transmission de données

CCR : Système de contrôle central de réseau

STGD : Système de traitement et de gestion de données

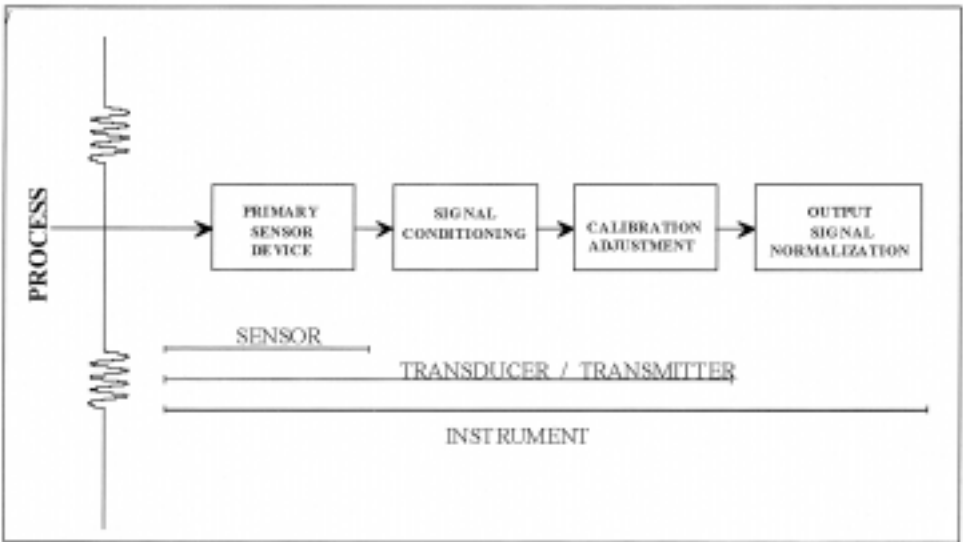
STGD à distance

5.3. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME

5.3.1. Appareils de mesure automatiques

Un appareil de mesure automatique est un dispositif qui, lorsqu'il est en interaction avec un phénomène physique, fournit une lecture continue, périodique ou à la demande, de la grandeur à mesurer. La lecture sera dans le format de son signal de sortie.

La Fig. 6 résume la terminologie utilisée pour la description des types d'appareils automatiques utilisés pour les mesures in situ.



- Capteur* : le capteur est l'élément-clé dans une chaîne de mesure, qui convertit la donnée d'entrée variable en un signal qui peut être mesuré.
- Transducteur* : le transducteur est un dispositif qui accepte une donnée d'entrée comme une variable physique et procède à sa conversion en une variable de sortie, de type identique ou différent, suivant une loi définie.
- Transmetteur de signal* : le transmetteur de signal est un transducteur ayant une sortie normalisée.
- Appareil de mesure* : indique couramment un dispositif (capteur, transducteur, ou transmetteur) capable de « mesurer » une grandeur physique.

La disponibilité de plus en plus grande de microprocesseurs peu coûteux, de performance élevée, avec des caractéristiques énergétiques faibles, a permis d'introduire des fonctions complexes de traitement de données dans les appareils de mesure automatiques. Ces appareils sont appelés « *capteurs intelligents* » (Fig. 7). Ils

5.3. DESCRIPTION OF SYSTEM COMPONENTS

5.3.1. Automated Instruments

An automated instrument is a device that, when placed in interaction with a physical phenomenon, provides a continuous, periodic or on-request reading of the value being measured. The reading will be in the format of its output signal.

Fig. 6 summarizes the terminology used to describe the types of automated instruments commonly used for field measurements.

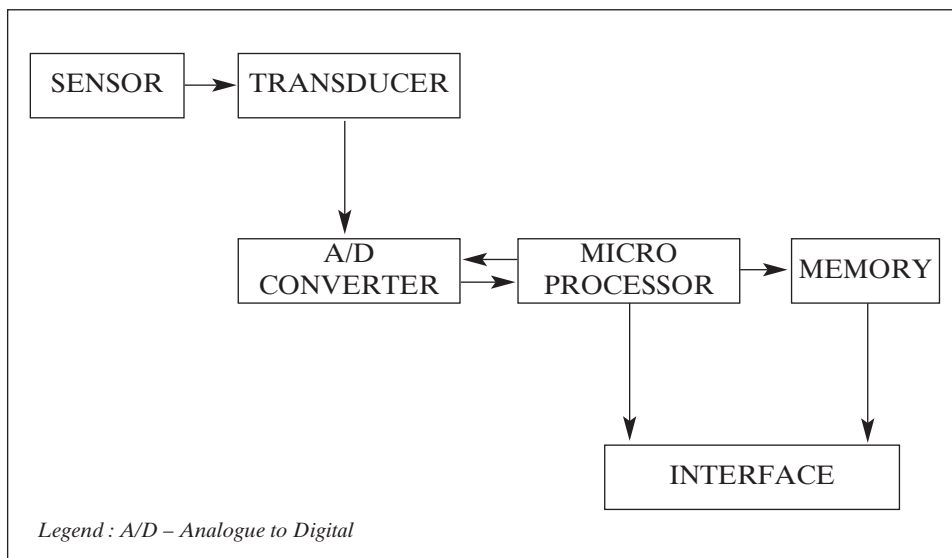
Fig. 6
Automated Instrument
Appareils de mesure automatiques

Process	<i>Processus</i>
Primary sensor device	<i>Dispositif principal de capteur</i>
Signal conditioning	<i>Conditionnement du signal</i>
Calibration adjustment	<i>Correction d'étalonnage</i>
Output signal normalisation	<i>Normalisation du signal de sortie</i>
Sensor	<i>Capteur</i>
Transducer	<i>Transducteur</i>
Transmitter	<i>Transmetteur</i>
Instrument	<i>Appareil de mesure</i>

- a) *Sensor* : the sensor is the key element in a measurement chain that converts the variable input into a signal that can be measured.
- b) *Transducer* : the transducer is a device that accepts an input as a physical variable and processes it to convert it into an output variable of the same, or different type, in accordance with a defined law.
- c) *Signal transmitter* : the signal transmitter is a transducer having a standardized output.
- d) *Instrument* : commonly indicates a device (sensor, transducer or transmitter) able to “ measure ” a physical quantity.

The increasing availability of inexpensive, high performance microprocessors with low power ratings has allowed complex data processing functions to be built into automated instruments. These instruments are called *smart sensors*, Fig. 7. They provide pre-processed data that can be automatically corrected for errors due to

fournissent des données prétraitées qui peuvent être corrigées automatiquement d'erreurs dues à la température, etc. En outre, ces capteurs peuvent fournir des informations supplémentaires, telles que la fiabilité des mesures et l'état de fonctionnement des capteurs, etc.



5.3.2. Unités d'auscultation locales et à distance

Les unités d'auscultation installées près du système de contrôle central de réseau, ainsi que celles installées à distance, contiennent les circuits et composants qui fournissent l'énergie aux appareils, assurent la commutation des divers canaux de mesure, effectuent automatiquement la conversion des signaux analogiques en valeurs numériques, collectent les données numériques et assurent des interfaces avec le système de contrôle central de réseau. Ces unités d'auscultation utilisent des microprocesseurs bien adaptés aux opérations dans des milieux particulièrement hostiles.

5.3.3. Système de contrôle central de réseau

Le système de contrôle central de réseau remplit des fonctions de surveillance et de gestion et est ainsi le cœur de l'ensemble du système de collecte de données. Il comprend un ordinateur qui, au moyen des périphériques qui lui sont connectés, tels que les unités d'auscultation locales et à distance, et les interfaces de communications, assure la collecte, la validation, l'archivage, le traitement et la transmission des données de mesures, ainsi que la présentation des résultats des vérifications effectuées par l'ordinateur.

a) Configuration du matériel informatique

La configuration du système de contrôle central de réseau est représenté graphiquement sur la Fig. 8.

temperature, etc. In addition smart sensors can provide additional information such as the reliability of the measurements and the operational status of the sensors themselves, etc.

Fig. 7
Smart Sensor
Capteur intelligent

Sensor	<i>Capteur</i>
Transducer	<i>Transducteur</i>
A/D converter	<i>Convertisseur analogique/numérique</i>
Microprocessor	<i>Microprocesseur</i>
Memory	<i>Mémoire</i>
Interface	<i>Interface</i>

5.3.2. Remote and Local Monitoring Units

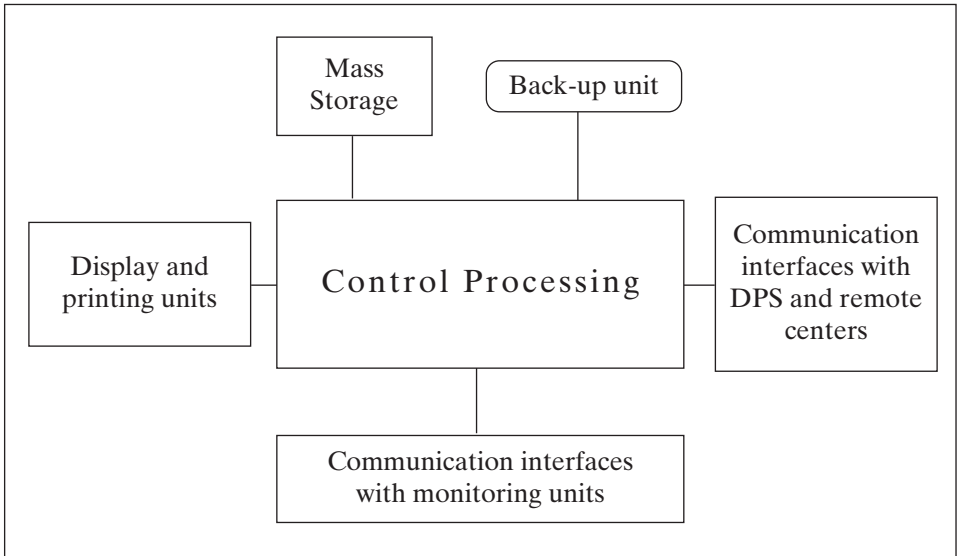
Monitoring units installed close to the Central Network Monitor as well as those installed remotely contain the circuits and components that provide power to the instruments, switch the various measurement channels, automatically make the conversion of analogue signals into a digital form, collect the digital data, and interfaces with the Central Network Monitor. These monitoring units utilize microprocessors well suited for operation in particularly hostile environments.

5.3.3. Central Network Monitor

The Central Network Monitor carries out supervision and management functions and is, thus, the heart of the entire data collection system. It consists of a computer that, by means of the peripherals connected to it, such as the local and remote monitoring units and its communications interfaces, provides for the collection, validation, archiving, processing and transmission of the measurement data, and for reporting results of the checks performed by the computer.

a) *Hardware Configuration*

The configuration of the CNM can be represented graphically as shown in Fig. 8.



Alors que les configurations peuvent beaucoup varier en fonction de la nature spécifique des applications, les périphériques et les interfaces que le système doit gérer sont les suivants :

- Contrôle vidéo avec graphiques en couleur;
- Clavier étendu avec touches de service, souris ou boule de commande;
- Stockage de grande capacité sur disque dur;
- Stockage de grande capacité, amovible, et moyen de stockage de secours (disque souple, carte à mémoire, disques amovibles, unités de bande, etc.);
- Imprimantes graphique (couleur, ou noir et blanc) et alphanumérique de différentes qualités, utilisant diverses technologies d'impression;
- Interfaces en série : interfaces multiples en série pour la gestion des unités périphériques, modems et, en général, équipement fonctionnant suivant différentes normes de communication (RS-232, RS-422, RS-485, boucle de courant, etc.);
- Interfaces en parallèle pour la gestion des périphériques locaux (IEEE 488-HPIB, SCSI, Centronique, etc.);
- Interfaces pour connexions aux réseaux locaux, aux réseaux en bus et aux réseaux étendus.

b) Configuration des logiciels

Dans le système de contrôle central de réseau d'un système d'auscultation automatique, la gestion en ligne des opérations ou fonctions suivantes est contrôlée par le logiciel de contrôle général et d'acquisition de données :

- Mise en route automatique du système;
- Gestion des paramètres de configuration du système;

Fig. 8

Central Network Monitor – Hardware Configuration

Système de contrôle central de réseau – Configuration du matériel informatique

Control processing	<i>Opération de contrôle</i>
Mass storage	<i>Stockage de grande capacité</i>
Back-up unit	<i>Unité de secours</i>
Display and printing units	<i>Unités d'affichage et d'impression</i>
Communication interfaces with DPS and remote centers	<i>Interfaces de communication avec le système de traitement de données et les centres à distance</i>
Communication interfaces with monitoring units	<i>Interfaces de communication avec les unités d'auscultation</i>

While configurations may vary significantly according to the specific nature of the applications, the peripherals and the interfaces that the system has to manage are the following :

- Video monitor with color graphics;
- Extended keyboard with function keys, mouse or track-ball;
- Hard disk mass storage;
- Removable mass storage and a backup storage medium (floppy disk, memory card, removable disks, tape units, etc.);
- Color or black and white only graphic and alphanumeric printers of different qualities employing various printing technologies;
- Serial interfaces: multiple serial interfaces for the management of peripheral units, modems and, in general, equipment operating according to different communication standards (RS-232, RS-422, RS-485, current-loop, etc.);
- Parallel interfaces for the management of local peripherals (IEEE488-HPIB, SCSI, Centronics, etc.); and
- Interfaces for connection to Local Area Networks (LAN), field bus, and Wide Area Networks (WAN).

b) Software Configuration

On the Central Network Monitor of an AMS system the on-line management of the following activities or functions is controlled by the SCADA software.

- Automatic start up of the system;
- Management of parameters of system configuration;

- Acquisition des données;
- Validation et traitement des mesures;
- Enregistrement et impression des données;
- Affichage des données obtenues;
- Affichage de l'emplacement des divers points de mesure;
- Traitement des données en temps réel (évaluation en ligne des mesures);
- Gestion des anomalies;
- Traitement des alarmes;
- Affichage de l'état du système et des périphériques;
- Communication des données à distance ;
- Entretien à distance.

Des informations supplémentaires concernant le logiciel susmentionné sont données au chapitre 7.

5.3.4. Système de transmission de données

Le système de transmission de données assure la liaison entre toutes les composantes du système d'auscultation automatique, cette liaison étant « locale » ou à « distance ».

a) Système de transmission locale de données

La communication locale est définie comme la transmission de données in situ. Le réseau de communication locale gère le flux d'informations entre tous les appareils qui constituent le système d'auscultation installé sur le site du barrage (appareils automatiques, unités d'auscultation à distance, système de contrôle central de réseau, système de traitement et de gestion des données). Cette liaison de communication est normalement située dans la zone du barrage, ou dans les environs immédiats.

Les liaisons de communication le plus couramment utilisées pour un réseau local sont : les lignes téléphoniques, les câbles coaxiaux, les fibres optiques et les liaisons radio UHF. L'accès au réseau peut être direct depuis les interfaces ajustées aux appareils, ou par l'intermédiaire de modules d'adaptation et de conversion. Des liaisons radio et par fibres optiques offrent les meilleures garanties vis-à-vis des problèmes de surtension causés par la foudre.

Des protocoles de communication en série sont adoptés pour les communications à vitesse de transmission lente (RS-232, RS-422, RS-485 et boucle de courant), ainsi que pour les communications à vitesse de transmission rapide (bus de circuit et réseau local).

b) Système de transmission de données à distance

Le réseau de transmission de données à distance gère les flux d'informations vers et depuis les centres situés à l'extérieur de la zone du système d'auscultation pour la transmission ou la réception des informations et les commandes.

- Data acquisition;
- Validation and processing of measurements;
- Data recording and printing;
- Display of the data acquired;
- Display of the location of the different measurement points;
- Real time data processing (on line evaluation of measurement);
- Management of anomalies;
- Processing alarms;
- Display of system and peripheral status;
- Remote data communication; and
- Remote maintenance.

Additional information related to the SCADA software is provided in Section 7.

5.3.4. Data Transmission System

The Data Transmission System provides the communication link between all the components of the automatic monitoring system, this link being either “local” or “remote”.

a) Local Data Transmission System

The local communication is defined as the project or on-site transmission of data. Thus the local communication network manages the flow of information between all the equipment that forms the monitoring system installed at the dam site (automated instrument, remote monitoring units, central network monitor and the data processing and management system). This communication link is normally within the physical area of the dam itself, or in the immediate neighborhood.

The most commonly used communications for a local network are telephone lines, coaxial cables, optical fiber links and UHF radio channels. Access to the network may be direct from the interfaces fitted to the equipment, or via adaptation and conversion modules. Radio and optical fiber links offer the greatest guarantees against problems of power surges caused by lightning.

Standard serial communication protocols are adopted for both low speed communications (RS-232, RS-422, RS-485 and Current loop) and for high speed communications (Field Bus and LAN).

b) Remote Data Transmission Systems

The remote data transmission network manages the flows of information to and from centers outside the monitoring system area for the transmission or reception of information and commands.

Dans ce cas, les communications sont essentiellement de deux natures. Non seulement le centre à distance reçoit les données automatiquement mais il peut demander au système d'acquies des données, de vérifier le fonctionnement du système et de remplir des services à distance, tels que la configuration et la mise à jour de logiciel. Il permet aussi au personnel de service de contrôler et d'interroger le système à distance à des fins de diagnostic.

Des lignes téléphoniques, des liaisons radio, des liaisons par micro-ondes ou des satellites peuvent être utilisés pour ces communications à distance. Il faut noter que les lignes téléphoniques sont parfois inutilisables lors de périodes critiques, telles que crues et séismes, lorsque des données en temps réel sont les plus nécessaires. Aussi, des liaisons radio, avec alimentation en énergie par batterie, sont-elles le moyen de communication préféré.

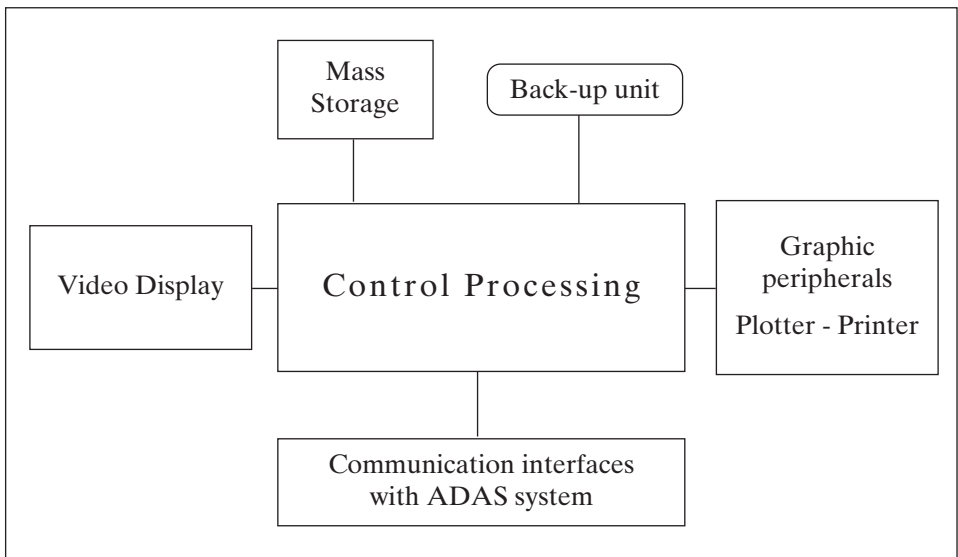
5.3.5. Système de traitement et de gestion de données

Le système de traitement de données est le sous-système du système d'auscultation automatique, qui accomplit le traitement de données spécifiés après le transfert de celles-ci à ce sous-système. Il peut être directement connecté au système d'acquisition automatique de données pour un traitement en ligne ou il peut fonctionner hors ligne.

Il est composé d'un ordinateur qui, au moyen des périphériques qui lui sont connectés, assure la gestion de données historiques, l'analyse statistique, l'établissement d'un rapport et la présentation graphique de résultats.

a) Configuration du matériel informatique

Une configuration type d'un système de traitement de données est présentée sur la Fig. 9.



In this case, the communications are essentially two-way in nature. Not only does the remote center receive data automatically but it is able to query the system to request data acquisition, check the functioning of the system and conduct remote servicing, such as the configuration and updating of software. It also allows service personnel to monitor and query the system remotely for diagnostic information.

Telephone lines, radio channels, microwave channels or satellites can be used for these remote communication links. It should be noted that the telephone lines may not be operational during times of emergency such as floods and earthquakes, when real-time data are needed the most. Therefore, battery powered radio links are the preferred method of communication.

5.3.5. Data Processing and Management System

The Data Processing System is the AMS sub-system that performs the specified data processing after the data has been transferred to it. It can be directly connected to the ADAS system for on-line processing or it can run off-line.

It is composed of a computer that, by means of the peripherals connected to it, provides for data management of historical data, statistical analysis, data reporting and graphic presentation of results.

a) *Hardware configuration*

A typical configuration of a DPS is shown diagrammatically in Fig. 9.

Fig. 9

Data Processing and Management System - Hardware Configuration

Système de traitement et de gestion de données - Configuration du matériel informatique

Control processing	<i>Opération de contrôle</i>
Mass storage	<i>Stockage de grande capacité</i>
Back-up unit	<i>Unité de secours</i>
Video display	<i>Affichage vidéo</i>
Graphic peripherals	<i>Périphériques graphiques</i>
Plotter-Printer	<i>Traceur-Imprimante</i>
Communication interfaces with ADAS system	<i>Interfaces de communication avec le système d'acquisition automatique de données</i>

Alors que la configuration du système de traitement de données peut beaucoup varier avec l'application spécifique, les périphériques et les interfaces que le système doit gérer sont les suivants :

- Contrôle vidéo avec graphiques en couleur;
- Stockage de grande capacité sur disque dur;
- Unités de stockage de grande capacité, amovibles, en vue d'échanger des données avec le système d'acquisition automatique de données (disque souple, carte à mémoire, disques amovibles, unités de bande, etc.);
- Unité de secours (disque compact, bande);
- Traceurs graphique en couleur et alphanumérique / imprimantes de diverses qualités utilisant des technologies d'impression variées;
- Interfaces pour connexion aux réseaux locaux et aux réseaux étendus.

b) Configuration des logiciels

Dans un système de traitement de données, divers logiciels peuvent être utilisés pour la gestion en ligne ou hors ligne. Des informations supplémentaires sont données au chapitre 7.

5.4. SYSTÈMES SPÉCIAUX D'AUSCULTATION

Une brève description de types particuliers de systèmes d'auscultation pouvant être installés sur des barrages est donnée ci-après.

5.4.1. Systèmes d'auscultation sismique

Le but principal d'un système d'auscultation sismique est de fournir des informations sur les caractéristiques des événements sismiques au moyen de mesures exécutées à proximité du barrage, et sur les effets produits par ces séismes sur le barrage.

Un système d'auscultation sismique est constitué de trois groupes principaux d'éléments : les transducteurs sismiques, les accélérographes et le système central de gestion. Le système peut avoir une configuration répartie ou centralisée.

La *configuration répartie* (Fig. 10) est caractérisée par l'installation d'accélérographes à proximité des groupes de transducteurs sismiques et loin du système central de gestion, assurant les meilleures performances en ce qui concerne le problème de la réduction des bruits parasites.

While configuration of the DPS may vary significantly according to the specific application, the peripherals and the interfaces that the system has to manage are the following :

- Video monitor with color graphics;
- Hard disk mass storage;
- Removable mass storage units in order to exchange data with ADAS system (floppy disk, memory card, removable disks, tape units, etc.);
- Back up unit (CD, tape);
- Color graphic and alphanumeric plotter/units printers of different qualities employing various printing technologies; and
- Interfaces for connection to Local Area Networks (LAN) and Wide Area Networks (WAN).

b) Software configuration

On a DPS system, different software packages can be run for the on-line or off-line management activities. Additional information is given in Section 7.

5.4. SPECIAL MONITORING SYSTEMS

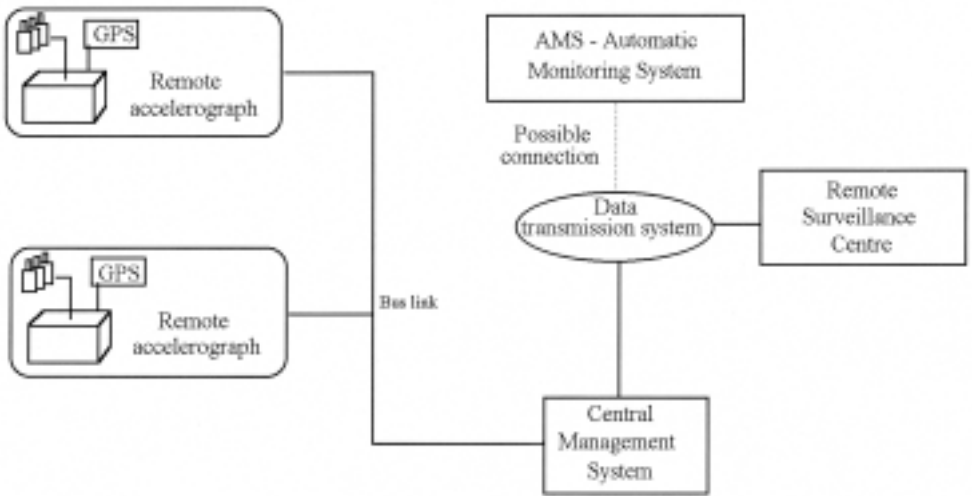
A brief description of special types of monitoring systems that can be installed on dams is given below.

5.4.1. Seismic Monitoring Systems

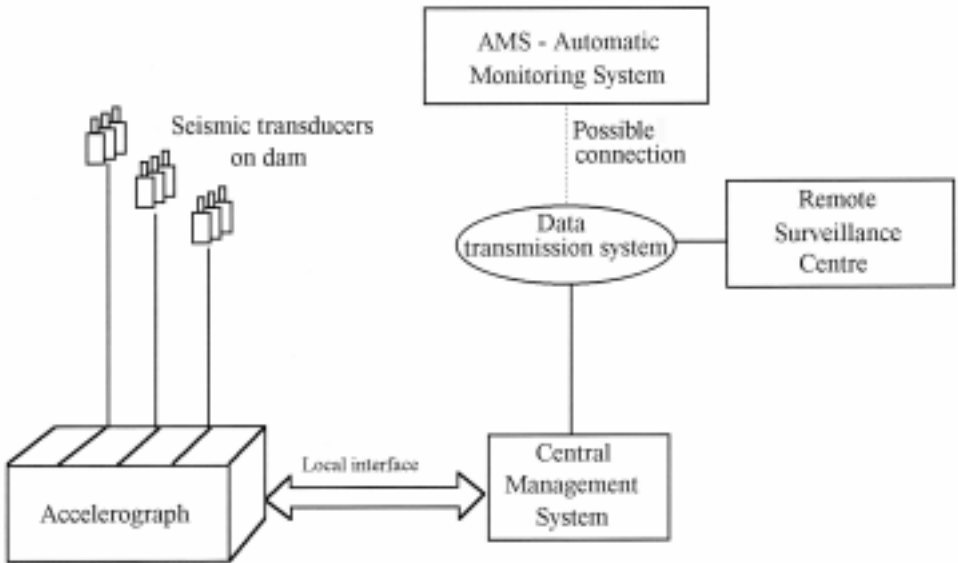
The main scope of a seismic monitoring system is to provide information on the characteristics of seismic events through the measurements taken around the dam, and on the effects produced by these events on the dam itself.

A seismic monitoring system is composed of three main component groups: the seismic transducers, the accelerographs and the central management system. The system may have a distributed or centralized configuration.

The *distributed configuration*, Fig. 10, features the installation of accelerographs close to groups of seismic transducers and far from the central management system, assuring the best performances as regards the problem of noise reduction.



La *configuration centralisée* (Fig. 11), avec les accélérographes installés près du système central de gestion et les transducteurs loin des accélérographes, est la conception la plus largement adoptée.



Les transducteurs sismiques peuvent être conçus pour mesurer les accélérations dans une, deux ou trois directions. Ce sont des accéléromètres qui peuvent avoir comme support, dans le réseau, des transducteurs de vitesse (sismomètres).

Les accélérographes sont entièrement automatiques; ils contrôlent et enregistrent sur des dispositifs à mémoire non rémanente les données provenant de signaux émis par les transducteurs sismiques.

Fig.10
 Seismic Monitoring System – Distributed Configuration
Système d'auscultation sismique – Configuration répartie

Remote accelerograph	<i>Accélérographe à distance</i>
GPS (Global Positioning System)	<i>GPS (Triangulation par satellites)</i>
Bus link	<i>Liaison par bus</i>
AMS (Automatic Monitoring System)	<i>SAA (Système d'auscultation automatique)</i>
Possible connection	<i>Connexion possible</i>
Data transmission system	<i>Système de transmission de données</i>
Remote Surveillance Centre	<i>Centre de surveillance à distance</i>
Central Management System	<i>Système central de gestion</i>

The *centralized configuration*, Fig. 11, with the accelerographs installed close to the central management system and the seismic transducers far from the accelerographs, is the most widely used concept.

Fig.11
 Seismic Monitoring System - Centralized Configuration
Système d'auscultation sismique - Configuration centralisée

Seismic transducers on dam	<i>Transducteurs sismiques sur le barrage</i>
Accelerograph	<i>Accélérographe</i>
Local interface	<i>Interface locale</i>
AMS (Automatic Monitoring System)	<i>SAA (Système d'auscultation automatique)</i>
Possible connexion	<i>Connexion possible</i>
Data transmission system	<i>Système de transmission de données</i>
Remote Surveillance Centre	<i>Centre de surveillance à distance</i>
Central Management System	<i>Système central de gestion</i>

The seismic transducers may be configured to measure acceleration in one, two or three directions. They are typically accelerometers which may be supported in the network by velocity transducers (seismometers).

The accelerographs are fully automatic equipment that monitor and record on non-volatile memory devices the data received from signals generated by the seismic transducers.

Les accélérographes enregistreurs les plus perfectionnés sont du type digital. Ce dispositif a généralement les caractéristiques fonctionnelles principales suivantes :

- Haute résolution analogique / numérique (pas inférieure à 16 bits);
- Opération logique de déclenchement souple sur les signaux filtrés par des filtres passe-bande;
- Synchronisation des références de temps internes (horloge) et interfaçage direct avec les références de temps externes obtenues à partir des signaux GPS;
- Possibilité d'autodiagnostic.

Le système central de gestion qui contrôle les accélérographes (centralisés et répartis) est basé sur un ordinateur exploitant un logiciel de gestion approprié. Toutes les informations et données relatives aux fonctions du système central peuvent être imprimées localement, soumises à un prétraitement en ligne, archivées sur une mémoire de grande capacité et transmises pour examen et archivage dans un centre éloigné, et également affichées sur un terminal vidéo local.

Les principales fonctions du système central de gestion sont :

- Analyse des phénomènes sismiques pour l'établissement d'un rapport sur ces phénomènes (durée, valeur de pointe à pointe, valeurs maximale et minimale) avec, le cas échéant, comparaison (par exemple en termes de spectre de réponse) avec les valeurs de référence ;
- Présentation graphique des résultats.

5.4.2. Systèmes de contrôle des accès et d'alarme anti-intrusion

Les systèmes de sécurité pour le contrôle d'accès du personnel et les alarmes anti-intrusion sont utilisés sur les sites de barrages comme aide aux services de sécurité assurés par des gardiens, ou en remplacement de ces services confiés à l'homme. Un tel système peut se subdiviser en quatre sous-systèmes distincts :

- Contrôle des accès
- Alarme intrusion
- Télévision en circuit fermé
- Centre de surveillance.

Ces sous-systèmes sont intégrés pour constituer un système unique de sécurité à distance, tel que celui représenté sur la Fig. 12.

The most advanced accelerograph recording units are of the digital type. This equipment has generally the following main functional characteristics :

- High analogue to digital resolution (not less than 16 bit);
- Flexible trigger logic operating on the signals filtered by band-pass filters;
- Synchronization of internal time references (hardware clock) and direct interfacing with external time references obtained from GPS signals; and
- Self-diagnosis capability.

The central management system that supervises the accelerographs (both centralized and distributed) is based on a computer running suitable management software. All the information and data relating to the functions of the central system can be printed locally, subjected to preliminary on-line processing, archived on a mass memory device and transmitted for examination and archiving at a remote center, as well as being displayed on a local video terminal.

The main functions of the central management system are :

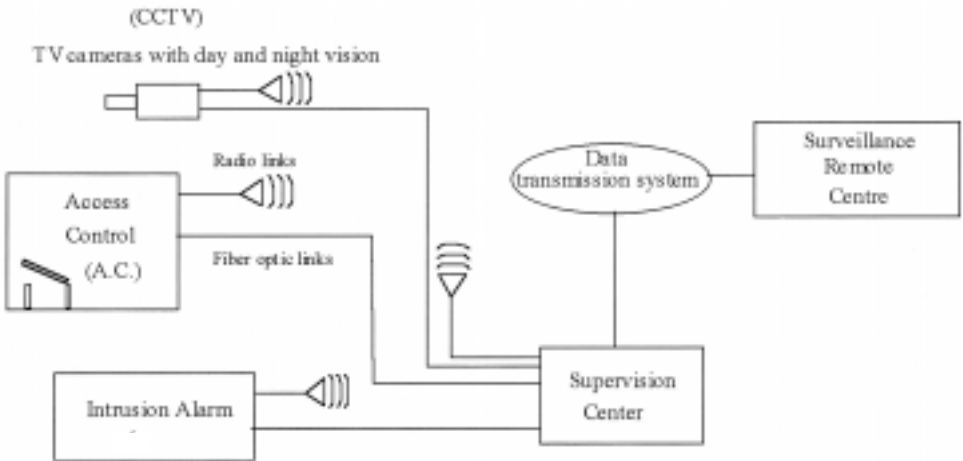
- The analysis of seismic events for the production of event data report (duration, peak to peak value, and maximum and minimum values) and possible comparison (for example, in terms of response spectrums) with reference values; and
- Graphic presentation of the results.

5.4.2. Access Control and Anti-Intrusion Alarm Systems

Security systems for the access control of personnel and intrusion alarms are used at dam sites either as a support to the security services provided by guards, or as a complete substitution of these manned services. A typical access and anti-intrusion alarm system can be subdivided into four distinct sub-systems, as follows :

- Access Control
- Intrusion Alarm
- Closed Circuit Television
- Supervision Center.

These sub-systems are integrated to create a single remote security system such as that shown in Fig. 12.



a) *Contrôle des accès*

Le sous-système de contrôle des accès comprend un certain nombre de points d'entrée ayant un dispositif de fermeture à moteur et un lecteur de badge magnétique, ou autres dispositifs d'identification, reliés à une unité centrale, pour la reconnaissance des personnes ayant une autorisation d'accès. Les points d'entrée peuvent être constitués de tronçons de route, équipés de signalisations lumineuses et de dispositifs de protection.

b) *Système d'alarme anti-intrusion*

Le sous-système d'alarme anti-intrusion protège certains lieux particulièrement importants. La signalisation depuis le système peut être réalisée par des contacts magnétiques installés pour la protection des portes d'accès, et par des capteurs volumétriques utilisant la technologie de l'infrarouge et de la micro-onde pour la couverture des zones internes. Le sous-système d'alarme intrusion protège aussi les accès à la chambre de commande des vannes, la protection pouvant être assurée par un grillage métallique équipé d'un dispositif d'alarme ou par une barrière à infrarouge.

c) *Sous-système de télévision en circuit fermé*

Le sous-système de télévision en circuit fermé est constitué de caméras vidéo installées in situ et connectées au centre de surveillance pour le contrôle visuel en temps réel des zones couvertes. Le système peut utiliser des caméras vidéo couleur ou noir et blanc, de type DCC (Dispositif à couplage de charge), équipés d'amplificateurs légers afin d'augmenter leur sensibilité et permettre ainsi les observations nocturnes sans utilisation de lumière artificielle, évitant ainsi des systèmes coûteux d'éclairage. Un dispositif motorisé avec tête inclinable, contrôlé à distance depuis le centre de surveillance, est utilisable sur certains sites afin d'obtenir un contrôle visuel de l'ensemble de la zone environnante.

Fig. 12

Access Control and Anti-Intrusion Systems

Systèmes de contrôle des accès et d'alarme anti-intrusion

CCTV (Closed Circuit Television)	<i>Télévision en circuit fermé</i>
TV cameras with day and night vision	<i>Caméras TV avec observations de jour et de nuit</i>
Radio links	<i>Liaisons radio</i>
Access Control (AC)	<i>Contrôle des accès</i>
Fiber optic links	<i>Liaisons par fibres optiques</i>
Intrusion Alarm (IA)	<i>Alarme intrusion</i>
Data transmission system	<i>Système de transmission de données</i>
Supervision Center	<i>Centre de surveillance</i>
Surveillance Remote Centre	<i>Centre de surveillance à distance</i>

a) Access Control

The access control sub-system consists of a number of entry points having a motorized closure device and a magnetic badge reader or other identification devices connected to a central unit for the recognition of persons authorized for access. The entry points may take the form of road blocks, complete with illuminated sign posting and protection.

b) Anti-Intrusion Alarm system

The anti-intrusion alarm sub-system protects some parts of the premises of particular importance. The signaling from the system may be produced by magnetic contacts installed to protect access doors, and volumetric sensors using both infrared and microwave technology for the coverage of internal areas. The intrusion alarm sub-system also protects accesses to the gate control room, which may be protected by an alarmed wire-link fence or infrared barrier.

c) Closed Circuit Television subsystem

The closed circuit television sub-system is composed of video cameras mounted in the field and connected to the Supervision Center for the visual monitoring in real time of the areas covered. The system may employ CCD (Charge Coupled Device) color or black and white video cameras fitted with light amplifiers in order to increase their sensitivity to the point that allows night vision without the use of artificial light, thus avoiding costly lighting systems. A motorized pan and tilt head, remotely controlled from the Supervision Center, may be used in some sites in order to provide visual monitoring of the whole surrounding area.

6. CONSIDÉRATIONS SUR LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME

6.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA CONCEPTION

L'évaluation de la sécurité d'un barrage sera, de préférence, effectuée par le projeteur du barrage, qui connaît les zones de faiblesse et posant des problèmes sur l'ouvrage, cette évaluation étant faite en collaboration avec des ingénieurs qualifiés et expérimentés dans le domaine de l'exploitation des barrages. Afin de fournir à l'ingénieur des informations précises sur le comportement d'un barrage, le système d'auscultation automatique sera conçu pour effectuer des mesures, avec précision, sur le nombre requis de capteurs et obtenir une fonction de traitement rapide des données. Une grande attention doit être portée à la conception du système afin qu'il fournisse les données sous une forme facilement compréhensible par l'ingénieur de contrôle, et avec la précision et la fiabilité nécessaires à une évaluation satisfaisante de la sécurité du barrage.

Dans la conception d'un système d'auscultation automatique, le degré d'automatisation sera déterminé en tenant compte de la faisabilité économique, des détails de projet et de construction du barrage et de sa fondation, des types d'appareils de mesure et des méthodes de détection, du nombre de points d'auscultation, et de la gestion et des nécessités opérationnelles de chaque organisme qui utilisera les données.

Les choix concernant le fonctionnement général du système doivent être définis en portant une attention particulière aux points suivants :

- Disposition générale des unités d'auscultation, dont les divers emplacements peuvent conduire à des installations centralisées ou réparties;
- Positionnement des différents composants du système (système de contrôle central de réseau-système de traitement de données), corrélé avec la structure organisationnelle effective du maître d'ouvrage;
- Utilisation des divers moyens de transmission suivant les performances et le niveau de précision requis;
- Définition du logiciel de contrôle général et d'acquisition de données à mettre en service sur le système de contrôle central de réseau, et du logiciel de traitement de données pour le STD, en fonction des besoins de contrôle des alarmes et de gestion des données pour l'ouvrage spécifique à ausculter.

Les considérations générales suivantes seront prises en compte lorsqu'un système d'auscultation automatique doit être conçu. L'Annexe B contient une liste de contrôle pour les études de conception d'un système d'auscultation automatique.

6.1.1. Considérations environnementales et disposition générale

Le système sera conçu de façon adéquate quant à la prévention des parasites électriques, à la protection contre la foudre et à la garantie d'étanchéité, afin d'assurer la fiabilité à long terme du système.

6. SYSTEM DESIGN CONSIDERATIONS

6.1. DESIGN CONCEPT

The evaluation of dam safety should be made preferably by the designer of the dam, who knows the local weakness and problem areas, in cooperation with qualified engineers experienced in dam operation. In order to provide the engineer with accurate information on the behavior of a dam, the automated monitoring system should be designed to measure the required number of sensors accurately and to provide a rapid data processing function. Considerable thought must go into the design of the system to ensure that it produces data in a form that can be readily understood by the Supervising Engineer, and with the accuracy, dependability and reliability needed to properly assess dam safety.

In the design of an automated monitoring system, the degree of automation should be determined, considering economical feasibility, design and construction details of the dam and its foundations, types of instruments and detection methods, the number of monitoring points and the managing and operational requirements of each specific organization that will use the data.

The choices relevant to the general functioning of the system must be defined with particular attention to :

- Layout of the monitoring unit, which different location may determine centralized plants or distributed ones;
- Positioning of the different components of system (CNM-DPS) correlated to the effective organizing structure of the dam owner;
- Usage of different transmitting media (DTS) according to the performances and the accuracy level required; and
- Definition of the SCADA software specifications to be run on the CNM and the data processing software for the DPS, according to the needs of alerts control and data management for the specific structure that is to be monitored.

The following general considerations should be taken into account when an automated monitoring system is to be designed. Appendix B contains a checklist for planning the design of an AMS.

6.1.1. Environmental Conditions and Layout

The system should be designed appropriately for electrical noise prevention, lightning protection, and moisture-proofing in order to ensure long-term system reliability.

6.1.2. Précision du système de mesure

Aucune mesure n'est jamais totalement à l'abri d'erreurs, telles que des erreurs et fautes systématiques et accidentelles. Mais il est parfois possible de rapprocher la valeur mesurée de la valeur réelle en corrigeant les résultats d'observations pour compenser les caractéristiques de l'appareil et les conditions environnementales. Dans l'évaluation de la précision globale du système, on doit prendre en compte la précision des divers éléments, tels que les appareils de mesure, les enregistreurs de données et autres éléments faisant partie du système. Le système sera donc conçu par un ingénieur qualifié et expérimenté, connaissant les caractéristiques particulières de chaque élément ainsi que la méthode de l'exploitation.

6.1.3. Fiabilité du système

Dans le cas d'un système automatique, on devra s'attacher à assurer une fiabilité à long terme à chaque stade (conception, acquisition, installation et exploitation du système). Bien qu'une erreur d'exploitation du matériel ou de traitement des données puisse être évitée dans un système automatique, le système dans son ensemble tend à devenir une « boîte noire » dans laquelle la détection de dysfonctionnement et d'erreurs est difficile. Afin de les éviter, il est donc indispensable d'effectuer une auscultation manuelle périodique. Les causes possibles de dysfonctionnement et les mesures correctives pouvant ou devant être prises sont données dans le Tableau 1 de l'Annexe B.

6.1.4. Souplesse du système

Le système d'auscultation automatique peut devenir inexploitable en raison d'une défaillance imprévue d'éléments du système et/ou d'interruption au cours des travaux de réparation. Des changements peuvent également se produire dans l'importance relative de chaque point de mesure et de chaque paramètre à mesurer, et dans la fréquence de mesure sur une longue période. La quantité de données stockées pouvant devenir énorme, il est nécessaire de prendre une décision à l'avance sur les moyens d'enregistrer et de stocker les données de façon sûre. Certaines fonctions peuvent nécessiter une automatisation dans le futur même si celle-ci n'est pas requise au stade du projet. Lors de la conception d'un système automatique, il importe donc d'incorporer de la souplesse dans le système afin de faire face à de tels changements futurs.

Les facteurs suivants de souplesse seront pris en considération au stade de la conception :

- Remplacement ou substitution d'éléments du système;
- Nécessité de mesures manuelles;
- Possibilité de modifier le réseau de mesures;
- Stockage des résultats des mesures.

6.1.5. Entretien

Des inspections périodiques et en cas d'urgence, des réparations, réglages et étalonnages des éléments du système seront exécutés en vue d'assurer la fiabilité à

6.1.2. Accuracy of Measurement System

No measurement can ever be totally free from errors, such as systematic and accidental errors and mistakes. But it is possible in some cases to bring the measured value much closer to the real one by correcting observational data to compensate for instrument characteristics and the environmental conditions. In evaluating the overall system accuracy one must take into account the accuracy of the individual components such as instruments, data loggers, computers and others that make up the total system. Thus, the system should be designed by an engineer who has the expertise and experience concerning the characteristics unique to each component as well as the operation method.

6.1.3. System Reliability

In the case of an automated system, careful consideration should be given to ensure the long-term reliability in each stage, such as system design, procurement, installation, and operation. Though misoperation of the equipment or data recording can be avoided in an automated system, the system as a whole tends to become a “ black box ” in which detection of malfunction and errors is difficult. Hence, periodical manual monitoring is indispensable to avoid it. Major possible causes of malfunctions and remedial measures that can or should be taken are shown in Table 1 in Appendix B.

6.1.4. System Flexibility

The automated monitoring system may become unoperational due to the unexpected failure of system components and/or interruption during repair work. Changes may also occur in the relative importance of each measuring point and item and necessary frequency of measurement over a long time. Since the amount of stored data becomes enormous, it is necessary to decide in advance how to record and store the data safely. Some functions may need to be automated in the future even if they are not so required at the design stage. Hence, in designing an automated system, it is essential to incorporate flexibility into the system to cope with such future changes.

The following flexibility factors should be considered during the design stage :

- Replacement or substitution of system components;
- Necessity of manual measurement;
- Changeability of measurement pattern; and
- Storage of measured data.

6.1.5. Maintenance

Periodic and emergency inspections and necessary repair/adjustment and calibration of the system components should be performed in order to secure a long-

long terme du système. À cet effet, l'inspection du système devra être facile. En outre, il est souhaitable de préparer un manuel pour aider le personnel d'auscultation sur le site dans ses recherches des causes des problèmes et dans l'étude des mesures correctives.

6.2. CONDITIONS REQUISES POUR LES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME

Le Tableau 2 de l'Annexe B donne des recommandations concernant le choix des capteurs, une évaluation du degré de difficulté dans l'installation du système et l'automatisation des mesures, des informations sur la fiabilité et le coût. Le système d'auscultation sismique ne figure pas dans le Tableau susmentionné du fait que sa configuration et les conditions requises dépendent beaucoup de la sismicité de la zone du barrage. Les points à considérer dans le choix des composants d'un système, tels que les unités d'auscultation locales ou à distance, le système de contrôle central de réseau et le système de traitement de données, le système de transmission de données, sont indiqués ci-après.

6.2.1. Unités d'auscultation locales ou à distance

Les conditions fonctionnelles à prendre en compte pour les unités d'auscultation sont les suivantes :

- Câblage approprié entre les appareils de mesure et les unités d'auscultation;
- Mise à la terre des circuits électriques et des modules électroniques de l'équipement périphérique;
- Protection des circuits électriques contre les surtensions ou les interférences électromagnétiques externes;
- Utilisation de communications par fibre optique si c'est réalisable.

Les spécifications techniques de base pour garantir la qualité technologique et le bon fonctionnement d'une unité d'auscultation sont :

a) Type du dispositif de commutation

Les dispositifs de commutation le plus largement utilisés pour scanner les canaux de mesure sont du type « relais à lame » avec contacts mécaniques, et du type « état solide » basé sur des semi-conducteurs. Le choix entre les deux types est étroitement lié au type d'appareil de mesure et à l'ajustement coût du système/fiabilité requise.

b) Type de convertisseur analogique/numérique

Le choix du type de convertisseur analogique/numérique le plus approprié dépend de la fonction exigée du système d'auscultation. Pour le contrôle du comportement statique de l'ouvrage, une grande précision des mesures est requise.

term reliability of the system. In this respect, the system should be easy to inspect. In addition, it is advisable to prepare a manual to assist site monitoring personnel to investigate the cause of problems and to plan remedial measures.

6.2. REQUIREMENTS FOR SYSTEM COMPONENTS

Table 2 in Appendix B lists a guide to the selection of sensors, an evaluation of the degree of difficulty of system installation and automation of measurement, reliability, and cost. Seismic monitoring system is not referenced in the Table mentioned above because its configuration and requirements depend greatly on the seismicity of the dam area. The points to be considered in selecting the system components such as Local or Remote Monitoring Units, Central Network Monitor and Data Processing System, Data Transmission System are outlined below.

6.2.1. Local or Remote Monitoring Units

The following functional requirements should be taken into consideration with regard to the monitoring units :

- The appropriate wiring of the cables from the instruments to the monitoring units;
- The grounding of the electric circuits and electronic modules of the peripheral equipment; and
- The protection of the electric circuits against power surges or external electromagnetic interference;
- The use of fiber optic communications if practicable.

The basic technical specifications to ensure the technological quality and good functioning of a monitoring unit are :

a) Type of Switching

The most widely used switching devices for scanning measurement channels are “ reed relay type ” with mechanical contacts and “ solid state type ” based on semiconductors. The choice between the two is closely linked to the type of instrument and the balancing of the system’s cost against the required reliability.

b) Type of A/D Converter

The choice of the most suitable type of analogue-digital converter depends on the required function of the monitoring system. For static structural monitoring, a high precision of measurement is required.

c) Interfaçage avec les canaux numériques

Certains appareils de mesure ont des signaux de sortie numériques. Ces signaux sont de différente nature, c'est-à-dire qu'ils peuvent être des impulsions, des éléments logiques ou des messages. Les données de mesure peuvent être obtenues en comptant le nombre d'impulsions produites, ou à partir d'un nombre convenable de bits transmis en parallèle ou en série, codant la valeur numérique dans un format donné. Si une unité d'auscultation est munie d'une interface d'entrée appropriée (interface parallèle, interface série, ou compteur), elle peut collecter les signaux provenant de ces appareils pour transmission ultérieure des valeurs numériques à la station d'auscultation dans le même format que d'autres mesures analogiques.

d) Traitement local des données

Certains systèmes d'auscultation sont conçus pour un traitement local des données sur des éléments amovibles, ce qui fournit une garantie supplémentaire pour la récupération des données en cas d'interruption des lignes de communication ou de mauvais fonctionnement du système central.

e) Possibilité de programmation

En ce qui concerne les niveaux de programmation et en tenant compte du fait qu'il y a de nombreuses solutions disponibles en raison de la grande souplesse des derniers langages de programmation et de la puissance des processeurs disponibles, les principales commandes requises sont les suivantes :

- Commandes pour l'établissement et la situation de canaux de mesure et d'unités de mesure;
- Commandes pour la mise en route de la collecte de données sur un ou plusieurs canaux, et la transmission ultérieure des valeurs collectées;
- Commandes pour la programmation et l'actionnement des cycles de collecte automatique périodique de données;
- Commandes pour l'envoi de données historiques.

f) Possibilité d'interfaçage

En ce qui concerne la possibilité d'interfaçage de l'unité, du matériel informatique et des logiciels de commande sont actuellement disponibles; ils fonctionnent suivant des normes internationales et sont généralement gérés par des systèmes de microprocesseurs très largement disponibles.

Un aspect important de l'interfaçage est la possibilité de rendre adressable l'unité d'auscultation de façon à permettre la connexion de plusieurs unités d'auscultation à une boucle de transmission physique unique, ce qui simplifie l'ensemble du système sur le plan de sa construction et de son exploitation.

6.2.2. Système de contrôle central de réseau

Les prescriptions suivantes seront prises en considération pour le système de contrôle central de réseau.

c) Interfacing with Digital Channels

Some instruments have digital output signals. These signals can be different in nature, that is to say they may be impulses, logical states or messages. The measurement data may be generated by counting the impulses produced, or from the state of a suitable number of bits transmitted in parallel or in serial form that code the numerical value in a given format. If a monitoring unit is fitted with a suitable input interface (parallel interface, serial interface or counter), it can collect the signals from these instruments for subsequent transmission of the numeric value to the monitoring station in the same format as other analogue measurements.

d) Local Data Recording

Some monitoring systems are designed for local recording of data on removable media, thus providing an additional guaranty for the recovery of data in the case of an interruption of the communication lines or a malfunction of the central system.

e) Capability of Programming

With regard to the levels of programming, and while taking into consideration the fact that there are numerous possible solutions available owing to the great flexibility of the latest programming languages and the power of the processors available, the main commands required are :

- Commands for setup and status request for measurement channels and measuring units;
- Commands for the start of data collection on one or more channels, and the subsequent transmission of the values collected;
- Commands with the programming and activation of automatic periodic data collection cycles; and
- Commands for the sending historical data.

f) Capability of Interfacing

With regard to the interfacing capability of the unit, hardware boards and software drivers are available today which operate to internationally agreed standards and are commonly managed by the most widely available microprocessor systems.

An important aspect of interfacing is the ability to make the monitoring unit addressable so as to allow network connection of more than one monitoring unit to a single physical transmission loop, thus simplifying the whole system in terms of its construction and operation.

6.2.2. Central Network Monitor

The following requirements should be taken into consideration with regard to the Central Network Monitor.

Le processeur de ce système doit avoir des interfaces appropriées pour gérer des dispositifs de mémoire de grande capacité, en vue de la constitution d'archives historiques de données de mesures et de la réalisation de sauvegardes périodiques, ainsi que pour contrôler les unités d'auscultation, les dispositifs de communication aux centres externes et tous les autres périphériques dans le système.

La performance requise pour le matériel informatique et le logiciel de base varie d'un cas à l'autre et dépend du nombre de canaux à gérer, de la fréquence d'acquisition et de traitement des données, du type et de la quantité de traitement requis, ainsi que du nombre et des types d'interfaces.

Actuellement, les dispositifs sont gérés par diverses stations équipées d'un matériel allant de petits ordinateurs personnels jusqu'à des ordinateurs de grande puissance, avec une grande variété de systèmes d'exploitation.

Le système de contrôle central de réseau doit avoir un dispositif « chien de garde » capable de remettre à l'état initial et de remettre en marche automatiquement l'ensemble du système afin d'assurer la gestion automatique des problèmes opérationnels causés par un mauvais fonctionnement du matériel informatique ou du logiciel. Un « chien de garde » est un dispositif qui est déclenché automatiquement lorsque la remise à l'état initial n'a pas été effectuée dans la période de temps définie.

6.2.3. Système de traitement et de gestion des données

Les prescriptions concernant le système de traitement et de gestion des données sont les suivantes :

- Représentation graphique ou tabulation
- Système d'alarme
- Capacité de stockage
- Entrée manuelle des données

6.2.4. Système de transmission des données

Des câbles sont généralement utilisés pour la transmission des données entre les appareils de mesure, les dispositifs de mesure et le système de contrôle central de réseau. Actuellement, des câbles à fibres optiques sont également adoptés avec un convertisseur de signal électrique et optique.

Comparativement aux conducteurs à fils de cuivre, les câbles à fibres optiques présentent des avantages tels que : procédé non inductif, faible perte de transmission, capacité élevée de transmission et faible poids. Par contre, ils ont des inconvénients : fragilité vis-à-vis des forces mécaniques externes et difficultés de raccordement des câbles en cas de rupture. Les câbles à fibres optiques s'avèrent économiques et efficaces contre les parasites électriques ou la foudre, l'adoption de tels câbles sera examinée lors du projet des systèmes.

The CNM processor must have suitable interfaces to manage mass memory devices for the creation of historic archives of the measurement data and the carrying out periodic backups, as well as to control the monitoring units, the devices for communication to external centers, and all the other peripheral in the system.

The performance required of both the hardware and basic computer software vary from case to case, and depends on the number of channels to be managed, the frequency with which data acquisition and processing is to be conducted, the type and quantity of data processing required, and the number and types of interfaces provided with other systems.

Today, the devices are managed by various work stations in a range of equipment that spans from small PCs to powerful computers, with a wide variety of operating systems.

The CNM must have a “ Watch Dog ” device capable of resetting and then restarting the complete system automatically in order to ensure the automatic management of operational problems caused by hardware or software malfunctions. A “ Watch Dog ” is a device that is automatically triggered when it has not been reset within a specified time period.

6.2.3. Data Processing and Management System

The following requirements should be taken into consideration with regard to the Data Processing and Management System :

- Graphical representation or tabulation
- Alert system
- Storage capacity
- Manual input of data

6.2.4. Data Transmission System

Cables are generally used for data transmission between measuring instruments, measuring devices and the CNM. At present, optical fiber cables are also used with an electric and optical signal converter.

As compared with copper-conductors, optical fiber cables incorporate advantages such as non-inductive, low transmission loss, high transmission capacity and light weight. On the other hand, they have disadvantages such as weakness to external mechanical forces and difficulty in jointing cables in case of a break. Since optical fiber cables are seen as economical and furthermore effective against electrical noise or lightning, the adoption of optical fiber cables should be studied in designing systems.

Les considérations intervenant dans le choix du matériel destiné à la transmission des données sont les suivantes :

a) Conception du système de transmission locale des données

Le projet du système, en termes de distances couvertes, de lieu d'installation du matériel et de valeur des signaux transmis, résultera d'une combinaison de liaisons câblées et de liaisons radio, donnant le meilleur résultat au point de vue coût, fonction et fiabilité.

b) Conception du système de transmission des données à distance

L'utilisation de lignes téléphoniques du commerce via un modem relié, si possible, à un réseau de commutation par paquets, fonctionnant sous la norme X-25, constituera généralement la solution la moins coûteuse. Cependant, ces canaux de transmission peuvent être indisponibles dans des situations critiques causées par des phénomènes naturels violents, tels que crues et séismes.

L'utilisation de liaisons radio spécifiques dans des réseaux hertziens fournit d'excellentes communications, mais elles sont coûteuses.

La technique des satellites offre maintenant des solutions basées sur des systèmes géostationnaires, conduisant à des coûts d'installation et d'exploitation relativement bas. Dans un proche avenir, des systèmes à orbite terrestre basse seront disponibles et seront susceptibles de s'appliquer à des mesures à distance pour un faible coût.

6.2.5. Compatibilité électromagnétique

Le projet final du système est basé sur les spécifications de compatibilité électromagnétique auxquelles tous les composants du système doivent répondre. Des circuits électriques particulièrement sensibles étant utilisés pour le système d'auscultation dans le barrage, une attention particulière doit être portée au choix des composants du système qui doivent être conçus pour éliminer, ou au moins réduire, les interférences électromagnétiques.

6.2.6. Alimentation du système en énergie

L'alimentation normale en énergie d'un système d'auscultation de barrage se fait au moyen d'une ligne de courant alternatif reliée à un réseau de moyenne tension par l'intermédiaire d'un transformateur. En cas de défaillance d'alimentation due à un défaut local ou à une panne générale du réseau, une source d'alimentation de secours doit être prévue. Pour les systèmes importants d'auscultation où la continuité dans les mesures est essentielle, des générateurs automatiques de secours, capables de fonctionner de façon autonome pendant 2 ou 3 jours, ont été utilisés. Toutefois, en raison de la faible consommation d'énergie par le matériel massivement utilisé pour l'auscultation des barrages à distance, les groupes électrogènes sont remplacés par d'autres sources d'énergie. Il est maintenant courant d'ajouter à la ligne de courant alternatif, de basse tension, un dispositif d'alimentation en énergie constitué de batteries et d'un chargeur. Dans certains cas, des panneaux solaires ou des éoliennes fournissent le courant de charge pour les batteries.

The considerations that are necessary in selecting equipment for data transmission are as follows :

a) Local DTS Design

The design of the system in terms of the distances covered, the installation site of the equipment and the value of the transmitted signals should result in an optimal combination of cabled and radio links that ensures the best ratio of costs, function and reliability.

b) Remote DTS Design

The use of commercial telephone lines via a modem linked, if possible, to a packet switching area network operating on the X-25 standard will usually provide the lowest cost option. However, these transmission channels may not be available in emergency situations caused by violent natural phenomena such as floods or earthquakes.

The use of dedicated radios in microwave networks provides particularly efficient communications, but they are expensive.

Satellite technology now offers some products based on geostationary systems that offer relatively low installation and operating costs. In the near future, some Low Earth Orbit (LEO) systems will be available, and these will be able to offer a specific remote measurement application service at low cost.

6.2.5. Electromagnetic Compatibility

The final design of the system is based on the electromagnetic compatibility specifications to which all the components of the system must conform. As particularly sensitive electric circuits are used for the monitoring system in the dam, special care should be taken in the choice of system components that have to be designed to eliminate, or at least reduce, electromagnetic interference.

6.2.6. System Power Supply

The normal power supply for a monitoring system at a dam is by an alternating current power line connected to a medium tension network via a transformer. In case of a loss of power due to a local fault or a general power failure, an emergency power source must be provided. For large monitoring systems where continuity in the measurements is essential, automatic standby generators, capable of running autonomously for some 2 or 3 days, have been used. However, because of the low power consumption of equipment now used for remote monitoring of dams, motor generator sets are being replaced by alternate energy sources. It is now common practice to supplement the low voltage alternating current line with a direct current power supply consisting of batteries and an a.c. charging unit. In some cases, solar panels or windmills provide the charging current for the batteries.

7. TRAITEMENT, ANALYSE, INTERPRÉTATION DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DE RAPPORTS

7.1. GÉNÉRALITÉS

Dans un système d'acquisition automatique de données, la gestion des données, comprenant toutes les opérations allant de l'acquisition des données jusqu'à leur analyse, leur interprétation et la présentation d'un rapport, est réalisée suivant deux étapes principales :

- La première étape, comprenant les opérations d'acquisition et de traitement des données, et incluant la vérification, la réduction et le stockage des données, ainsi que l'exécution des sorties numériques et graphiques, est réalisée au centre de contrôle de réseau au moyen du logiciel de contrôle général et d'acquisition de données.
- La seconde étape, comprenant l'analyse et l'interprétation du comportement du barrage, et incluant la présentation d'un rapport sur les résultats obtenus, est exécutée suivant une procédure hors ligne ou en ligne.

7.2. TRAITEMENT EN LIGNE DES DONNÉES

7.2.1. Caractéristiques générales

Le logiciel de contrôle général et d'acquisition de données présente les caractéristiques suivantes :

- Collecte de données à des intervalles de temps déterminés, l'opérateur du système étant capable de modifier les intervalles de temps;
- Collecte de données dans des situations particulières, telles qu'une transmission asynchrone de données par un périphérique, un drapeau indiquant un phénomène sismique, ou d'autres conditions particulières prédéterminées;
- Collecte d'ensembles de données sur demande explicite de l'opérateur du système;
- Entrée manuelle de mesures effectuée périodiquement par le personnel résidant;
- Vérification des données afin d'accroître la fiabilité des valeurs mesurées, et de déceler un mauvais fonctionnement des appareils de mesure avec enregistrement du phénomène;

7. DATA PROCESSING, ANALYSIS, INTERPRETATION AND REPORTING

7.1. GENERAL

In an ADAS system, the management of data, including all procedures beginning with the data acquisition and ending in the data analysis, interpretation and reporting, is accomplished in two main steps :

- The first step, consisting of the data acquisition and processing tasks, including data checking, reducing, and storage, and the execution of numerical and graphical outputs, is performed in the Central Network Monitor (CNM) by means of a Supervisory Control and Data Acquisition software (SCADA).
- The second step, consisting of the subsequent analysis and interpretation of the dam behavior and including also the reporting of the corresponding results is carried out in an off-line and/or in an on-line manner.

7.2. ON-LINE DATA PROCESSING

7.2.1. General Features

The SCADA software is to include the following features :

- Collection of data at fixed time intervals, the system operator being able to modify the time intervals;
- Collection of data in the case of particular events such as asynchronous transmission of data by a peripheral, a flag indicating a seismic event or other particular predefined conditions;
- Collection of data sets by explicit request from the system operator;
- Manual entry of measurements periodically made by resident personnel;
- Check of data in order to increase the reliability of the measured values, signaling a possible malfunction of the instruments with consequent recording of the event;

- Stockage des données et sauvegarde périodique de fichiers d'enregistrement sélectionnés;
- Affichage et impression périodiques de données et autres résultats du traitement de données, montrant les tendances des données avec mise à jour en temps réel, l'opérateur ayant la possibilité de modifier la période de temps entre les lectures et de demander des affichages ou impressions particuliers;
- Gestion des anomalies, en particulier de celles résultant d'un dépassement significatif des limites admissibles, avec émission des signaux d'alarme correspondants;
- Possibilité de communication avec des unités à distance. Cela permettra de recevoir (périodiquement ou sur la demande d'un opérateur) une demande d'un ordinateur à distance et d'envoyer des informations concernant le traitement de données à une unité éloignée;
- Affichage de l'emplacement des divers points de mesure;
- Accès facile aux équations de réduction de données et aux autres programmes logiques et ensembles de constantes d'appareils, qui sont inclus dans la partie réduction de données du système.

7.2.2. Validation des données et actions consécutives

La réduction de données est le calcul de quantités techniques à partir des lectures de capteurs. Ce calcul doit être précédé d'une vérification préliminaire des valeurs brutes (à la suite de l'exécution d'essais de fonctionnement sur les appareils de mesure), ce qui implique la comparaison des valeurs réelles avec deux limites correspondant au champ de mesures de l'appareil.

La vérification des données sera faite sur les quantités techniques, capteur par capteur, en comparant chaque valeur avec les deux limites des champs admissibles prédéterminés par l'ingénieur de sécurité de barrage. Ces champs peuvent être établis « statistiquement » ou « dynamiquement ».

Dans le premier cas, les limites définissent un intervalle fixe (au moins durant une certaine période de temps), à l'intérieur duquel, dans des conditions normales, les valeurs se tiendront. Cet intervalle sera le plus petit possible, permis par les connaissances sur les normes de variations des valeurs. Pour un barrage ayant quelques années d'exploitation dans un large domaine de combinaison de charges, l'évolution correspondante des valeurs des données permet de définir des intervalles adéquats en prenant en compte les valeurs limites déjà observées. Au cours de la première mise en eau de la retenue et de la première période d'exploitation, ces limites peuvent être déterminées à partir des données fournies par des modèles physiques et/ou analytiques établis lors du projet (telles celles, par exemple, relatives aux valeurs obtenues pour les combinaisons de charges normales les plus sévères).

- Data storage and periodic back-up of selected record files;
- Periodic display and print of data and of other results of the data processing, showing in different ways the data trends with real time updating, the operator being able to modify the corresponding length of time between readings or to request specific displays or print-outs;
- Management of anomalies, particularly those resulting from exceeding allowable limits significantly, emitting the corresponding alarm signals;
- Possibility of communication with remote units. When implemented, this ability will enable, (on a periodical basis, or at the operator request) the receipt of a request from a remote computer and to send information concerning data processing to a remote unit;
- Display of the location of the different measurement points; and
- Easy access to the data reduction equations and to other logic programs and sets of specific instrument constants that are included in the data reduction portion of the system.

7.2.2. Data Validation and Subsequent Actions

The data reduction is the calculation of the engineering quantities from the sensor readings. This calculation is to be preceded by a preliminary check on the raw values (following the execution of functional tests on measurement equipment), that involves comparing the actual values with two limits corresponding to the instrument's measurement range.

The data checking shall be made on the engineering quantities, in a sensor by sensor reading basis, by comparing each value with the two limits of the allowable ranges predefined by the dam safety engineer. This range may be "statically" or "dynamically" established.

In the first case, the limits define a fixed (at least during a certain period of time) interval within which under normal circumstances the values shall lie. This interval will be the shortest possible that the knowledge about standards of the value variations permits. For dams having some years of operation under a reasonable wide range of load combinations, the corresponding evolution of data values enables the definition of adequate intervals by taking into account the limit values already observed. During the first filling of the reservoir and during the first period of operation those limits can be established on the basis of the data obtained in the physical and/or analytical models established in the design (such as, for example, those regarding the values obtained for the more severe normal load combinations).

Dans le second cas, un champ admissible prédéterminé est comparé avec l'écart entre la quantité technique correspondant à une nouvelle donnée collectée et la valeur calculée au moyen d'un modèle de comportement prédéfini. De tels modèles de comportement seront examinés dans le chapitre 7.3.1 (Analyse hors ligne des données).

Quel que soit le cas, l'ingénieur de sécurité de barrage doit définir la valeur de la différence entre les valeurs réelles (lues) et les valeurs dont les anomalies sont telles qu'elles justifient le déclenchement d'un signal d'alarme. Bien entendu, il est essentiel de définir les champs susmentionnés, de même que les valeurs d'alarme pour chaque élément de donnée. En fait, en raison de la grande quantité de données fournies par un système d'acquisition automatique de données, il importe de visualiser sur écran les données d'entrée et d'alerter les examinateurs pour toutes valeurs dépassant les limites prédéterminées.

Il est peu probable que toutes les données provenant d'un même appareil de mesure rentreront dans le champ admissible défini, même s'il n'y a pas de modification de comportement du barrage. Aussi, l'occurrence d'une série de valeurs sortant de l'intervalle défini, mais ne dépassant les valeurs d'alarme, doit-elle être suivie par :

- Une analyse spécifique et minutieuse au cas où ces valeurs maintiendraient ou augmenteraient l'écart par rapport au champ admissible. Cette analyse doit être précise et exécutée dans un temps très court si des augmentations identiques d'écarts affectent également des valeurs provenant d'autres appareils de mesure;
- La qualification de telles données (valeurs), si les données suivantes reprennent des valeurs rentrant dans le champ admissible; cette qualification est destinée à indiquer que de telles données sont sujettes à caution et nécessitent une explication. Comme le comportement du barrage n'a pas changé, du moins de façon significative, comme le « prouve » le retour des données à des valeurs normales, les données qualifiées peuvent correspondre à des mesures erronées dues à des facteurs externes, ou à des mesures correctes correspondant à des situations non prévues lors de l'établissement des domaines de valeurs admissibles.

7.2.3. Stockage des données

Il est souhaitable de concevoir et d'utiliser une base de données contenant les données d'auscultation choisies pour être stockées. Compte tenu des nouvelles capacités des ordinateurs modernes, cette approche n'a presque pas de limites. Bien que les données puissent être stockées sur des fichiers séparés – un fichier pour chaque transducteur –, il est préférable d'établir une base de données « état solide ». L'exploitation de cette base de données doit être régie par des règles spécifiques permettant une meilleure approche lors de l'établissement des relations entre les variables s'y rapportant. La portabilité des données doit être également considérée comme un facteur important.

Les données brutes doivent être stockées en permanence dans les archives afin que, dans le futur, des valeurs techniques puissent être recalculées si des fautes

In the second case, a predefined allowable range is compared with the deviation between the engineering quantity corresponding to a new collected data and the value calculated by means of a predefined behavior model. These predefined behavior models, will be dealt with in Section 7.3.1 (Off-line data analysis).

Whatever the case, the dam safety engineer is to define the amount of the difference between the actual as read values and the values considered so abnormal that they would justify sounding an alarm signal. Obviously, it is essential to define the above mentioned ranges as well as the alarm values on each data element. In fact, due to the large amount of data usually produced by an ADAS, it is important to screen incoming data and to alert reviewers of any values that exceed the predefined limits.

It is hardly likely that all data collected from the same instrument will fall in the predefined allowable ranges, even when there are no changes in the dam behavior. Therefore, the occurrence of a sequence of values falling outside the predefined interval, but not exceeding the alarm values, must be followed by :

- A specific and careful analysis in case those values maintain or increase the deviation from the allowable range. This analysis must be precise and carried out in the shortest time interval if similar increases of deviations also affect values from other instruments; and
- The qualification of such data (values), if the subsequent data return to the values within the allowable range; in order to indicate that such data are questionable and need to be explained. As the dam behavior has not changed, at least significantly, as is “ proved ” by the returning of data to normal values, the qualified data may correspond to erroneous measurements due to some external factors or to valid measurements corresponding to situations not envisaged when establishing the allowable ranges.

7.2.3. Data Storage

It is advisable to design and use a database that contains the monitoring data selected to be stored. By taking into account the new capabilities of modern computers, this approach has almost no limits. Although data may be stored in separate files – one file for each transducer – it is better to build a “ solid state ” database. The operation of that database is to be governed by specific rules allowing for a better approach when establishing relationships between all the relevant variables. Data portability must also be considered as a primary factor.

Raw data must be stored permanently in the archives so that in the future engineering values can be recomputed if calibration faults are found. When both the

d'étalonnage sont découvertes. Lorsque les valeurs de données brutes et les équations de conversion sont connues, il est relativement facile et pratiquement peu coûteux de retraiter des lots de données si des changements dans les programmes de réduction de données ou dans les procédures de calcul sont souhaités. Cela nécessite que l'information requise pour convertir les données brutes en valeurs techniques soit également stockée en permanence. Cette information est généralement compilée en un « fichier de configuration de capteur » qui contient le type d'équation et les constantes d'étalonnage pour chaque canal dans le système. Le fichier de configuration est généralement stocké comme un élément de tête au sommet du fichier contenant les données brutes pour chaque groupe d'appareils de mesure. Le fichier de données de conversion n'est jamais changé, mais de nouvelles formules et constantes de conversion peuvent être ajoutées si un appareil de mesure est remplacé.

Mais, toutes les données ne seront pas stockées en permanence, quel que soit le type, en particulier lorsque la fréquence de l'acquisition automatique de données est, de manière significative, plus grande que celle correspondant à l'acquisition manuelle. En fait, si le logiciel détecte et identifie convenablement toutes les données indiquant un changement de comportement du barrage, alors seulement des données représentatives nécessitent un stockage en permanence. Cependant, il importe que toutes les données collectées puissent être également stockées, mais dans des fichiers temporaires. Ces fichiers seront par la suite transférés à un dispositif de stockage de grande capacité (bande digitale ou disque CD-ROM) pour libérer un espace de disque dur. Par exemple, si les données sont collectées toutes les heures, le stockage des données peut être organisé en constituant les archives temporaires suivantes :

- Des archives spécifiques pour stocker toutes les données pendant un mois ;
- Des archives spécifiques pour stocker les valeurs moyennes, minimales et maximales journalières, pendant un an. Dans certains cas, afin d'éviter les perturbations thermiques de jour, il est souhaitable d'inclure une lecture de nuit, par exemple exécutée à 2 heures du matin.

Note : Lorsque l'ouvrage est très sensible aux variations de température, il est recommandé de constituer des archives spécifiques contenant des données appropriées plus fréquentes afin de ne pas affecter le traitement statistique comportant une analyse thermique.

Ces archives temporaires doivent être remplacées par les suivantes du même type, à moins que quelque chose inhabituelle ne survienne. Par exemple, si les limites admissibles établies ont été dépassées, les archives temporaires peuvent être, dans ce cas, supprimées, mais seulement après diagnostic du problème effectué sur intervention de l'ingénieur de sécurité de barrage.

Les archives permanentes sont destinées à stocker seulement les données significatives pour le phénomène en question, par exemple un ensemble de données par jour ou par semaine. Les données stockées seront des valeurs réelles mesurées et seront toujours stockées avec toutes les informations s'y rapportant, telles que les charges appliquées, le niveau de retenue ou la température. Les données enregistrées peuvent être des valeurs ponctuelles, des valeurs maximales et minimales, ou des données correspondant à une heure et à un jour prédéterminés de

raw data values and conversion equations are known it is relatively easy and practically inexpensive to reprocess batches of data if changes in data reduction programs or computational procedures are desired. This requires that the information needed to convert raw data to engineering values must also be stored permanently. This information is commonly compiled in a so-called “ sensor configuration file ” which contains the equation type and calibration constants for each channel in the system. The configuration file is generally stored as a header at the top of the file containing the raw data for each set of measurements. The stored conversion data file is never changed, but new conversion formula and constants may be added if an instrument is replaced.

But, not all data, whatever the type, should be permanently stored, especially when the frequency of the automatic data acquisition is significantly greater than the one corresponding to the manual acquisition. In fact, if the software will adequately detect and duly identify all data indicating a change in dam behavior, then only representative data need be permanently stored. However, it is important that all collected data may also be stored, but in temporary files. These files should be subsequently transferred to a mass storage device (digital tape or CD-ROM) to release hard disk space. For example, if the data are typically collected every hour, the data storage may be organized by creating the following temporary archives :

- One archive to store all data collected during a month; and
- One archive to store the daily average, minimum and maximum values per day, during a year. In some cases, to avoid daytime thermal disturbances it is desirable to include one night time reading, for instance at 2:00 in the morning.

Note : Whenever the structure is very sensitive to temperature variations, it is advisable to create specific archives containing more frequent pertinent data in order not to affect the statistic processing involving temperature function analysis.

These temporary archives are to be replaced by the next similar ones, unless something unusual happens. For example, if the established allowable limits have been exceeded; the temporary archives in this case can be deleted only after the diagnosis of the problem by means of an action from the dam safety engineer.

The permanent archive is for storing only the significant data for the phenomena under consideration, for example one data set per day or week. The data stored should be real measured values and they should always be stored together with all the information that is relevant such as applied loads, reservoir level or temperature. The recorded data may be spot values, maximum and minimum values, or data corresponding to a predefined hour and day of the week, such as 02:00 in the morning every Wednesday. When temperature variations are

la semaine, par exemple 2 heures du matin, chaque mercredi. Lorsque les variations de température sont particulièrement importantes, les données enregistrées doivent inclure les températures mesurées s'y rapportant.

7.2.4. Entrée manuelle et édition des données

Même avec un système d'acquisition automatique de données, il y aura des dispositions permettant l'entrée manuelle de données en vue de faire face à des situations, telles que vérification du système automatique, système en panne, ou rupture du système. Il est souvent opportun de ne pas automatiser des mesures exécutées peu fréquemment, par exemple une mesure par mois. Néanmoins, ces données seront traitées automatiquement de la même façon que celles collectées automatiquement. L'entrée manuelle des données doit être automatiquement suivie d'une complète réduction des données à des valeurs techniques. Les mêmes critères pour le scannage des champs admissibles et des valeurs d'alarme susmentionnés seront appliqués aux données avec entrée manuelle.

Des opérations manuelles peuvent être exécutées plus facilement et présenter plus de fiabilité en utilisant des dispositifs de mesure portables, équipés de stockage de données, qui permettent l'alimentation directe du système de contrôle central de réseau en relevés de mesure. La validation immédiate de valeurs par un dispositif manuel de mesure peut être obtenue en utilisant des dispositifs portables (type « haut de gamme »), permettant de fournir directement ces enregistrements au système de contrôle central de réseau. Il importe que l'opérateur (utilisateur) du système ait la possibilité de définir de nouveaux types de capteurs et de mettre à jour l'inventaire des types d'appareils de mesure, en toute clarté.

L'examen et l'édition de données seront nécessaires de temps en temps. On devra considérer comment des changements de données seront effectués, audités, et s'il importe de restreindre l'accès à cette possibilité au moyen d'un système de mot de passe. Comme indiqué ci-dessus, la qualification de données, l'édition de valeurs de données et les recalculs seront disponibles comme faisant partie de l'exploitation normale du système. Au cours de l'édition, il importe d'avoir accès aux données correspondant aux conditions in situ et aux diagnostics du système d'acquisition automatique de données. Un système de gestion de données bien conçu fournira à l'examineur toute l'information nécessaire pour étudier si une lecture d'appareil de mesure est précise ou si elle traduit un mauvais fonctionnement d'un élément du système d'acquisition automatique de données. Les appareils seront toujours considérés comme corrects jusqu'à ce qu'on puisse prouver qu'il n'y a pas eu de comportement imprévu du barrage qui aurait causé la lecture apparemment incorrecte.

7.2.5. Gestion des alarmes et anomalies

Ainsi que cela est souvent souligné dans ce Bulletin, un des principaux avantages d'un système d'auscultation automatique est de permettre une détection rapide (la « rapidité » dépendant de la fréquence de collecte des données) de toutes anomalies, en particulier de celles concernant le comportement du barrage, qui ont des impacts sur les grandeurs physiques faisant l'objet de l'auscultation automatique.

especially important, the recorded data must include the relevant measured temperature.

7.2.4. Manual Entry and Editing of Data

Even with an ADAS there should be facilities to permit manual data entry in order to cope with situations such as the automatic system check, and the possibility of system being out of order, or system failure. It is often useful not to automate measurements taken very infrequently, for example, one reading per month. Nevertheless, these data should be processed automatically in a similar way as automatically collected data. The manual data entry must be automatically followed by the full reduction of data to engineering units. The same criteria for scanning allowable ranges and alarm values described above would be applied to manually entered data as well.

Manual operations can be made easier and more reliable by the use of portable measuring devices equipped with data storage, that allow the direct feed of measurement records to CNM. The immediate validation of values by a manual measuring device can be obtained by the use of portable devices (palm-top type) allowing the direct feed of these records to the CNM. It is important that the operator (user) of the system has the capability to define new types of sensors and update the inventory of project instrument types in a straightforward manner.

The reviewing and editing of data will be required from time to time. One should consider how data changes should be made, audited, and whether it is important to restrict access to this capability through use of a password system. As described above, qualification of data, editing of data values and recalculations should be available as part of the normal operation of the system. During editing, it is important to have access to field conditions data and ADAS system diagnostics. A well planned data management system should provide the reviewer with all the information needed to assess whether an instrument reading is accurate or it just reflects malfunction of an ADAS component. Instruments should always be accepted as correct until it can be proven that there has been no unexpected behavior of the dam that could have caused the apparently incorrect reading, or is related to field conditions at the time of reading.

7.2.5. Management of Alarm and Anomalies

As frequently emphasized throughout this Bulletin, one of the most important achievements of the automatic monitoring systems is to allow for rapid (the “rapidity” depending on the frequency of the data collection) detection of any anomaly, particularly those concerning the dam behavior, that would impact on the automatically monitored physical quantities.

Comme indiqué ailleurs dans le Bulletin, le système automatique pourra diagnostiquer au moins les anomalies les plus fréquentes affectant ses différents composants, à savoir celles causant des variations dans les données qui sont susceptibles d'être mal interprétées, ainsi que celles correspondant à des changements soudains et anormaux dans le comportement du barrage. Cependant, il est impossible d'anticiper toutes les anomalies identiques. Aussi, mêlées à des problèmes réels de comportement, y aura-t-il un certain nombre de fausses alarmes nécessitant une analyse attentive. Cela justifie que les alarmes émises par le système automatique seront exclusivement des alarmes techniques, c'est-à-dire émises seulement à destination des agents de contrôle de sécurité (avec, au sommet, le plus haut responsable, l'ingénieur de sécurité de barrage).

Une alarme concernant uniquement une lecture de capteur, malgré la nécessité d'une étude rapide et soignée, correspondra généralement à une anomalie de matériel ou à une situation non couverte par l'hypothèse soutenant l'établissement des limites admissibles. Une situation totalement différente correspond à l'émission d'alarmes concernant, non seulement plusieurs lectures d'appareils, mais aussi plusieurs lectures successives. Malgré l'existence possible d'une conséquence d'une anomalie affectant le matériel qui contrôle ces appareils de mesure, la coïncidence et la continuité des alarmes nécessitent une vérification approfondie. Cette vérification peut comprendre : (i) l'exécution d'un essai spécial sur la performance du système à la demande de l'opérateur du système ou de l'ingénieur de sécurité de barrage, (ii) la prise d'une série de mesures manuelles suivie de leur traitement et analyse, et (iii) une inspection visuelle de tous les aspects, caractéristiques et emplacements où une évidence de perturbations possibles de comportement peut apparaître (une attention spéciale sera portée à l'augmentation des pressions d'eau, aux déplacements de joints, aux nouvelles fissures ou fuites, à la turbidité des eaux drainées, aux tassements, etc.). En cas de manifestation d'une telle situation, il est absolument nécessaire de mettre en œuvre toutes les mesures appropriées jusqu'à ce qu'une explication convaincante soit obtenue. Étant donné que les types d'actions à prendre en cas de confirmation de la présence d'une anomalie dans le comportement du barrage, pouvant affecter sa sécurité, ne sont pas spécifiques aux systèmes d'auscultation automatique, ces actions ne seront pas traitées dans le présent Bulletin.

7.3. ANALYSE, INTERPRÉTATION DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DE RAPPORTS

7.3.1. Analyses basées sur des modèles statistiques et déterministes

L'analyse des données peut être faite en ligne ou hors ligne.

L'analyse des données consiste en la gestion des données précédemment stockées (données d'auscultation, propriétés des matériaux, caractéristiques géométriques du barrage, actions externes sur le corps du barrage, etc.) en vue d'obtenir les éléments nécessaires à l'ingénieur de sécurité de barrage pour interpréter le comportement de l'ouvrage.

As said elsewhere in this Bulletin, the automatic system will have the ability to diagnose at least the more frequent anomalies affecting its different components, namely those causing variations in the data that are susceptible to being misinterpreted as those corresponding to sudden and abnormal changes in the dam behavior. However, it is impossible to anticipate all similar anomalies. Therefore, mixed with some real behavior problems, there will be a number of false alarms requiring a careful analysis. This justifies that the alarms emitted by the automatic system will be exclusively technical alarms, i.e., emitted only to the safety control agents (culminating on the highest responsible, the dam safety engineer).

An alarm concerning only a sensor reading, despite needing a quick and careful assessment, will correspond usually to an equipment anomaly or to a situation not covered by the hypothesis supporting the establishment of the allowable limits. A completely different situation corresponds to the emission of alarms concerning not only several instrument readings but also several successive readings. Despite the possibility of being also a consequence of an anomaly affecting equipment that controls these instruments, the alarms' coincidence and continuity require a thorough check. This check may include (i) performance of a special test on the system performance specifically requested by the system operator or by the dam safety engineer, (ii) taking a series of manual readings followed by its processing and analysis, and (iii) conducting a visual inspection of all possible aspects, features, and places where some evidence of possible behavior disturbances may be apparent (particular attention shall then be paid to the increase of the depths and water pressures, to joint displacements, to new cracks or leakage, to the turbidity of the drained waters, to settlements, etc.). In case of occurrence of such a situation, it is absolutely necessary to carry out all recommendable tasks until a convincing explanation is reached. Since the kind of actions to be implemented in case of confirmation of the occurrence of an anomaly in the dam behavior, that possibly might affect its safety, are not specific of the automatic monitoring systems, they are therefore out of the scope of this Bulletin.

7.3. DATA ANALYSIS, INTERPRETATION AND REPORTING

7.3.1. Analyses Based on Statistical and Deterministic Models

Analysis of data can be done on-line or off line.

The data analysis consists of the management of the previously stored data (monitoring data, material properties, geometric characteristics of the dam, external connections of the body of the dam, etc.) in order to obtain the elements that are needed by the dam safety engineer to interpret the dam behavior.

Un exemple caractéristique d'analyse de données est représenté par les modèles dits de comportement. En supposant une certaine généralisation, la même désignation peut s'appliquer à la stabilité des relations fonctionnelles entre les effets observés et les actions correspondantes (charges) résultant de l'application de méthodes d'analyse quantitative. Ces méthodes peuvent être classées comme méthodes statistiques, déterministes ou hybrides. Le modèle statistique le plus utilisé est le modèle dénommé « analyse dans des conditions identiques de chargement », qui est une analyse de régression linéaire multiple. D'autres exemples d'analyse préliminaire de données comprennent la détermination de moyennes ou de moyennes mobiles et l'exécution d'analyse de Fourier.

En ce qui concerne les modèles de comportement, le logiciel doit inclure les modèles à utiliser dans la vérification de routine des données (en général, ceux résultant de l'application de méthodes d'analyse quantitative) et les procédures destinées à définir de nouveaux modèles en remplacement de ceux existants ou comme aide pour une interprétation plus approfondie du comportement du barrage.

Lorsque la vérification des données est faite au moyen de modèles de comportement, le champ admissible peut être établi sur la base de l'écart-type des différences entre les valeurs mesurées obtenues au cours de deux ou trois années d'exploitation normale et les valeurs correspondantes obtenues au moyen du modèle de prévision. Les limites du champ admissible peuvent être prises égales à deux fois l'écart-type.

D'autres intervalles peuvent être également établis, à partir de l'écart-type auquel divers signaux seront associés, permettant de percevoir de combien le comportement du barrage s'écarte du comportement « normal ». Si la valeur de l'écart-type sort d'un certain domaine préalablement défini par l'ingénieur de sécurité de barrage, un signal d'alarme sera émis.

Comme pour le traitement des données, l'analyse des données doit être effectuée non seulement au centre de traitement, mais aussi sur le site du barrage. Habituellement réalisée jusqu'à un état préliminaire seulement, compatible avec la formation technique du personnel d'auscultation, l'analyse effectuée au site du barrage est destinée à détecter, d'une façon simple et le plus tôt possible, d'éventuelles évolutions de comportement. L'exécution, au site du barrage, d'une telle analyse non seulement facilitera la tâche de l'ingénieur de sécurité de barrage, mais peut contribuer également à un contrôle de sécurité plus fiable. En fait, le personnel d'auscultation introduit un jugement de l'homme, au site du barrage, qui peut identifier, à temps, des défaillances éventuelles du système d'acquisition automatique de données, ainsi que des phénomènes nécessitant des mesures correctives urgentes, comme par exemple, dans ce cas, l'alerte de l'ingénieur de sécurité de barrage par le personnel d'auscultation.

7.3.2. Analyse basée sur une nouvelle technologie

L'interprétation des données consiste à évaluer la sécurité du barrage, non seulement à partir des résultats fournis par le système d'acquisition automatique de données, mais également en tenant compte de l'ensemble des caractéristiques du barrage, à savoir le corps du barrage, ses dispositifs annexes, les fondations, l'environnement, etc., et en s'appuyant aussi sur des connaissances et expériences passées, des lois physiques, des modèles spécifiques, des prescriptions réglementaires, etc.

A typical example of data analysis is represented by the so-called behavior models. By assuming a certain generalization, the same designation may also refer to the stability of the functional relationships between observed effects and the corresponding actions (loads) resulting from the application of methods of quantitative analysis. These methods may be classified as statistical, deterministic or hybrid methods. The most used statistical model is the so-called “analysis in identical loading conditions”, a multiple linear regression analysis. Other examples of preliminary data analysis include the determination of averages or moving averages and the execution of Fourier analysis.

As regards the behavior models, the software is to include the models to be used in the data checking that is done on a routine basis (usually those resulting from the application of quantitative analysis methods) and the procedures to define new models for replacing the existing ones or for supporting a more comprehensive interpretation of the dam behavior.

When the data checking is made by means of behavior models, the allowable range may be established on the basis of the standard deviation of the differences between the measured values obtained during two or three years of normal operation and the corresponding values obtained by means of the forecast model. The limits of the allowable range may be fixed as equal to twice the standard deviation.

Other intervals may be also established, on the basis of the standard deviation to which different signals will be associated, permitting the perception of how much the dam behavior deviates from the “normal” behavior. If the value of the standard deviation falls outside a certain range previously defined by the dam safety engineer, a signal of alarm will be emitted.

Similar to the data processing, the data analysis is to be performed not only at the processing center but also at the dam site. Usually developed up to a preliminary state only, compatible with the technical background of the monitoring personnel, the analysis performed at the dam site aims at the verification, in a simple way and as soon as possible, of possible evolutionary behavior trends. The execution, at the dam site, of such analysis will not only facilitate the task of the dam safety engineer but also may contribute to a more reliable safety control. In fact, the monitoring personnel introduce a human judgement at the dam site that can identify, in due time, possible ADAS failures as well as events needing urgent corrective actions, as for example in this case, the monitoring personnel will alert the dam safety engineer.

7.3.2. Analysis Based on New Technology

The data interpretation consists of the evaluation of the dam safety condition not only on the sole basis of the results produced by the ADAS but on the whole set of entities related to the dam, namely the dam body, its appurtenant features and their foundations, environment, etc., and also including past knowledge and experience, physical laws, specific models, regulations requirements, etc.

Des logiciels spéciaux, basés sur des techniques d'intelligence artificielle (IA), pour effectuer une interprétation en ligne du comportement du barrage, et pour évaluer, expliquer et filtrer des alarmes générées par un système d'acquisition automatique de données, ont été mis en œuvre et testés avec succès. En vue de tirer le maximum d'avantages d'un système d'auscultation automatique, l'orientation de nouveaux moyens technologiques vers une meilleure compréhension et un meilleur contrôle des barrages aura recours nécessairement aux techniques IA. Les techniques IA les plus courantes, utilisées jusqu'ici dans le domaine des opérations de contrôle de sécurité, sont (i) les systèmes experts et (ii) les systèmes de réseau neuronal.

Les *systèmes experts* dépendent de l'existence de connaissance experte ou heuristique concernant le comportement du système en question. Cela implique que l'expert a une compréhension du système, qui peut s'exprimer au moyen d'un modèle. Une caractéristique-clé d'un système expert est de dire à l'utilisateur « comment » une conclusion a été atteinte, en indiquant les données et la série de règles qui ont conduit la machine de référence à cette conclusion. Les *systèmes de réseau neuronal*, par contre, ne nécessitent aucune compréhension du comportement du système en question. Ils s'appuient simplement sur une capacité d'assortir des modèles, sans nécessiter un modèle fondamental pour expliquer comment ou pourquoi le système produit une sortie particulière provenant de la donnée d'entrée en question. Un avantage-clé des systèmes de réseau neuronal est la possibilité de faire face naturellement à des données d'entrée parasites, dans la phase d'entraînement et dans la phase d'application à de nouvelles données.

Les deux technologies représentent, de plusieurs façons, des approches complémentaires : la nature logique, cognitive et mécanique des approches de système expert, et la nature numérique, associative, auto-organisatrice et biologique des approches de système de réseau neuronal. Une bonne approche pour un système de traitement de données comprendra un réseau neuronal pour le traitement des données, avec les signaux des appareils de mesure comme entrées et des données filtrées comme sorties pour un système expert destiné à l'analyse et à l'interprétation des données.

Jusqu'ici, la mise en œuvre de techniques d'intelligence artificielle ont permis l'exécution automatique d'un certain type d'interprétation de données, même si cela ne dispense pas de l'intervention de l'ingénieur d'auscultation de barrage, en particulier lorsque l'application de telles techniques indiquent la manifestation possible d'une situation anormale.

Lorsque des données d'entrée suffisamment fiables sont disponibles, des réseaux neuronaux artificiels peuvent également être utilisés pour la prévision de mesures futures ou l'établissement des limites des champs admissibles pour les mesures.

7.3.3. Présentation de rapports sur les données

Les données brutes et même les quantités techniques sont par elles-mêmes souvent dénuées de sens. C'est pourquoi le personnel d'auscultation sur le site du barrage ou l'ingénieur de sécurité de barrage a besoin de visualiser les résultats pour déceler des anomalies éventuelles. À cet effet, le logiciel doit produire, de façon

Specialized software, based on Artificial Intelligence (AI) techniques, for carrying out on-line interpretation of dam behavior and for evaluating, explaining and filtering alarms generated by an ADAS have already been implemented and tested with considerable success. In order to take full advantage of an AMS system, trends on new technology development tools towards a better understanding and control of dam safety will necessarily resort to the AI techniques. The most common AI techniques so far used in the field of the safety control activities are (i) the expert systems and (ii) neural network systems.

Expert systems depend upon the existence of expert knowledge or heuristic regarding the behavior of the system in question. This implies that the expert has some understanding of the system, which may be expressed in terms of a model. A key feature of an expert system is to tell a user “ how ” a conclusion has been reached, by outlining the data and sequence of rules which led the reference engine to that conclusion. *Neural network systems*, on the other hand, do not require any understanding of the behavior of the system being represented. Instead, they simply rely upon an ability to match patterns, without needing an underlying model to explain how or why the system produces particular output from the given input. One key advantage of artificial neural networks is the ability to cope naturally with noisy input, both in the training phase and when applied to novel data.

The two technologies in many ways represent complementary approaches: the logical, cognitive and mechanical nature of expert system approaches, and the numeric, associative, self-organizing, biological nature of neural network system approaches. A good approach for DPS would include a neural network for the data processing, having the instrument signals as input and filtered data as output for an expert system aiming at the data analysis and interpretation.

So far, the implementation of artificial intelligence techniques allowed for the automatic execution of a certain type of data interpretation, even though not dispensing with the intervention of the dam monitoring engineer, especially when the results of the application of such techniques indicate the possible occurrence of an abnormal situation.

When sufficiently reliable input data is available, artificial neural networks can also be used to predict future measurements or to establish allowable range limits for the measurements.

7.3.3. Data Reporting

The raw data and even the engineering quantities are by themselves often meaningless. This is why the monitoring personnel at the dam site or the dam safety engineer needs to display the results to check for anomalies. The software must then produce, on a routine basis and at a request from the system operator, lists and

routinière et sur une demande faite par l'opérateur du système, des listes et graphiques donnant des informations sur l'évolution des données. Le logiciel sera suffisamment souple pour permettre un changement de format des sorties imprimées ou affichages, ou pour produire des sorties imprimées ou affichages spécifiques. Cela sera possible facilement et de manière opportune lorsque le demandeur l'opérateur du système, et sera utilisé, par exemple, pour un changement d'échelle de graphique.

Le logiciel de gestion de données aura la capacité de produire des rapports standard dans un format répétitif. Les rapports seront établis mensuellement ou annuellement. Des rapports *ad hoc* seront également possibles, lorsque l'utilisateur définit le format et les appareils de mesure à considérer dans le rapport. Ces rapports seront établis lors d'un phénomène concernant la sécurité ou lors d'un événement inhabituel. La préparation du rapport devra permettre de présenter tous types de données stockées dans la base de données, d'inclure des images numérisées, des graphiques de projet, des rapports techniques, etc., dans un format facilement compréhensible par l'ingénieur de surveillance.

Une procédure spéciale pour les rapports relatifs aux inspections visuelles sera considérée. Dans ce cas, la base de données inclura des tableaux spécialement conçus pour ce type d'information, avec possibilité d'augmenter ou de modifier la liste des matières.

Des rapports peuvent être établis en résumant les caractéristiques pour chaque donnée ou en analysant l'évolution d'une caractéristique particulière dans le temps.

7.4. LOGICIEL

Le logiciel de type standard est celui qui exécute le traitement, l'analyse, l'interprétation des données et la présentation de rapports. L'autre logiciel est du type « contrôle général », nécessaire pour activer ou réactiver le système, pour le surveiller, pour contrôler, vérifier et entretenir le système, et pour établir les communications locales et à distance, etc.

En ce qui concerne le logiciel de type standard, il y a déjà, dans certains pays, une très grande expérience, généralement acquise à partir de l'expérience précédente obtenue en traitant des questions identiques dans le domaine de l'acquisition manuelle de données. Cependant, des progrès sont en cours dans des domaines spécifiques comme, par exemple, ceux concernant les techniques de base de données, les modèles de comportement et les systèmes experts.

Certes, il sera très utile à toute personne envisageant l'automatisation des opérations d'auscultation de pouvoir utiliser des logiciels du commerce permettant d'effectuer, d'une façon générale, les procédures automatiques intervenant dans le traitement et l'analyse des données, dans l'établissement des rapports, et même, si possible, dans l'interprétation des données; mais il faut indiquer que l'utilisation de tels logiciels entraînera un travail approfondi qui sera certainement nécessaire pour adapter le logiciel à chaque barrage particulier.

diagrams giving information about data evolution. The software shall be flexible enough to permit changing the format of the printed outputs or displays, or to produce specific printed output or displays. This should be possible in an easy and user friendly way when requested by the system operator, and used, for example, to change the scale of diagrams.

The data management software should have the capability of producing standard reports with a repetitive format. The reports would be generated on a monthly and annual basis. *Ad hoc* reports should also be possible, where the user defines the format and the instruments to be reported. These reports would be generated during a safety event or other unusual event. Reporting should include the possibility of presenting all types of data stored in the database, including digitized pictures, design plots, technical reports, etc. in a form that can be readily understood by the Supervising Engineer.

A special procedure for visual inspection reports should be considered. In this case, the database must include tables specifically designed for that type of information including the possibility of increasing or changing the topic list.

Reports can be made by both summarizing the topics for each date or by analyzing the evolution of a specific topic with time.

7.4. SOFTWARE

The standard mode software is the software that performs the data processing, analysis, interpretation and reporting. The other one is the so-called Supervisory mode software necessary to activate or to reactivate the system, to supervise it, to control, to check and to maintain the system, and to establish the local and the remote communications, etc.

As regards the standard mode software, there is already considerable experience in some countries, usually developed on the basis of the previous experience obtained in dealing with similar matters within the scope of the manual data acquisition. However, some developments are underway in specific subjects, as for example, those concerning data basis techniques, behavior models and expert systems.

Although it will be very useful to any entity that envisages the automation of the monitoring activities to have the possibility of using commercialized software that makes it possible to carry out, in a general way, the automatic procedures involved in the data processing, analysis and reporting, and even, if possible, in the data interpretation; use of such software will entail extensive and thorough work that will certainly be necessary to adapt that software to each particular dam.

8. ACQUISITION DES ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

Le présent chapitre décrivant les méthodes pour l'acquisition des éléments d'un système d'auscultation automatique s'appuie principalement sur des informations extraites de la publication USCOLD : « Recommandations générales et pratique actuelle aux États-Unis dans l'auscultation automatique des barrages - Mai 1993 ».

8.1. ACQUISITION, PROCÉDURE ET LISTES DE CONTRÔLE

L'acquisition d'un système d'auscultation automatique implique plusieurs étapes et plusieurs intervenants, comme l'indique le Tableau suivant.

Tableau 5

Étape	Maître d'ouvrage	Concepteur	Fournisseur
Définition des objectifs	X		
Spécifications	X	X	
Conception	X	X	X
Fabrication	Contrôle général	Contrôle général	X
Installation	Contrôle général	X	X
Formation du personnel d'exploitation et d'entretien	X	X	X

Note : Au cours de l'installation, le maître d'ouvrage (ou son représentant sur le site) doit être fortement engagé dans le contrôle général de l'entreprise de construction du barrage afin de s'assurer que l'installation est parfaitement exécutée.

La liste de contrôle pour la préparation des spécifications relatives au système d'acquisition automatique de données constitue l'Annexe C du présent Bulletin. Cette liste résume les principaux points qu'il faudra prendre en considération lors de l'établissement des spécifications relatives au système d'acquisition automatique de données. L'intention n'est pas de faire porter toutes les spécifications sur tous les points de la liste de contrôle, mais si la procédure de l'offre la plus basse a été choisie pour toute opération, on apportera un grand soin à la rédaction de spécifications précises et toutes les prescriptions seront définies.

8.2. SPÉCIFICATIONS

La première décision portera sur le choix de la personne chargée de rédiger les spécifications du système : l'ingénieur de barrage ou le fournisseur? Il n'y a pas de

8. PROCUREMENT OF AMS COMPONENTS

This section describing the methods for procurement of AMS components is based mostly on relevant material that has been excerpted from USCOLD publication : “ General Guidelines and Current U.S. Practice in Automated Performance Monitoring of Dams - May 1993 ”.

8.1. PROCUREMENT, PROCEDURE AND CHECKLISTS

Procurement of AMS involves several steps and several actors as shown in the following Table.

Table 5

Step	Owner	Designer	Supplier
Goals definition	X		
Specifications	X	X	
Design	X	X	X
Manufacturing	Supervision	Supervision	X
Installation	Supervision	X	X
Training of operation and maintenance personnel	X	X	X

Note: During installation the owner (or his representative on site) must be heavily involved in the supervision of the dam construction contractor to insure that installation is correctly and effectively executed.

The checklist for content of Specification for automatic data acquisition system is included as Appendix C. The checklist summarizes the important items that should be considered for inclusion in specification for automatic data acquisition systems. It is not intended that all specifications should address all the items in the checklist, but if the low-bid procedure has been selected for any task, extra care must be taken to write a comprehensive specification and all relevant requirements should be specified.

8.2. SPECIFICATIONS

The first point to decide is who will write the system specifications: the dam engineer or the supplier? There are no general rules, but a majority of dam owners

règles générales, mais la plupart des maîtres d'ouvrage préfèrent que ces spécifications soient définies par un ingénieur conseil qui est un expert, bien expérimenté et qualifié dans le domaine des systèmes d'auscultation automatique.

Diverses approches ont été utilisées pour rédiger les spécifications et préparer les projets; certaines ont mieux réussi que d'autres. Les buts principaux des spécifications relatives aux systèmes d'auscultation automatique sont les suivants :

- Assurer un travail de haute qualité en passant un contrat avec un spécialiste expérimenté en matériel de mesure, qui fournira le système souhaité à un coût acceptable;
- Assurer une collaboration efficace entre le maître d'ouvrage et le fournisseur du matériel du système automatique d'auscultation. Cela est nécessaire non seulement pour tenir compte de chaque projet particulier, mais également pour maintenir l'efficacité de l'industrie qui dessert le marché concernant l'auscultation automatique des barrages.

Le projet d'un dispositif d'auscultation automatique de barrage nécessite un travail d'équipe. Des experts dans diverses spécialités : mesures électroniques d'auscultation, génie civil, communications, systèmes de calcul, etc., ont besoin de travailler ensemble en vue de comprendre à fond les exigences du projet. Cette approche coordonnée est le meilleur moyen de parvenir à de bonnes spécifications.

Les personnes qui entreprennent l'établissement de spécifications concernant les composants d'un système d'auscultation automatique ou le système sont généralement en présence des situations suivantes :

- Le choix de professionnels qualifiés, connaissant la technologie des systèmes d'auscultation automatique et capables de rédiger des spécifications satisfaisantes répondant aux buts susmentionnés.
- L'industrie qui fabrique du matériel d'auscultation automatique est relativement novice et est caractérisée par des engagements vis-à-vis de prescriptions de haute qualité, mais par de faibles ventes dans un marché restreint, et par des coûts élevés de recherche et développement.
- Les fournisseurs de matériel d'auscultation automatique connaissent parfaitement la technologie actuelle, mais sont peu disposés à concevoir des systèmes spécifiques au site, à leur propre charge.

Avant la rédaction des spécifications, il est nécessaire d'avoir des concepts clairs et bien définis sur les divers points suivants :

- génie civil
- organisation du programme d'auscultation
- types d'appareils de mesure
- transducteurs
- système de communication
- nécessité de contrôle
- alarmes
- matériel informatique
- logiciel
- modifications futures
- système de fourniture d'énergie

prefer these to be specified by a consultant who is an expert, well-experienced and specialized in the field of automated monitoring systems.

Various approaches have been done to write specifications and prepare designs; some have worked better than others. The primary goals of AMS specifications should be:

- To ensure high quality work by contracting with an experienced instrumentation specialist who provides the desired system at an acceptable cost; and
- To ensure a cooperative working relationship between the owner and the supplier of AMS equipment. This is necessary not only to take into account each individual project but also to ensure the continued strength of the industry that serves the market for automated performance monitoring of dams.

The AMS design requires teamwork. Experts in the different specialties of dam monitoring electronic control, civil engineering, communications, computational systems, and others need to work together in order to deeply understand the needs of the project. This coordinated approach is the best way to arrive at good specifications.

People who embark on specifying AMS components or systems usually face the following situations:

- The selection of qualified professionals with the knowledge of AMS technology and their ability to write satisfactory specifications that satisfy the above-mentioned goals.
- The industry that manufactures AMS equipment is a fledgling one which is characterized by a commitment to high quality requirements but low sales volume to a small market, and by high R&D cost.
- The suppliers of AMS equipment have full knowledge of their state-of-the-art technology but are understandably reluctant to design site-specific systems at their own cost.

Before writing the specifications, it is necessary to have clear and well defined concepts of:

- civil project
- organization of the monitoring program
- type of instrument
- transducers
- communication system
- control request
- alarms
- hardware
- software
- future modifications
- energy system

- pièces de rechange
- possibilités d'entretien.

Avant la rédaction des spécifications, il est nécessaire de définir en détail les types de contrôle qui seront effectués sur les appareils de mesure et les alarmes, les possibilités de changements (réduction, extension ou ajustement), la capacité de résoudre, de manière simple, les changements de nature technologique et répondre aux prescriptions et exigences des projets.

8.3. MÉTHODES DE PASSATION DES CONTRATS

Pour un nouveau barrage, une pratique courante a été de sous-traiter les travaux du système d'auscultation automatique à l'entreprise générale des travaux de construction. Bien que cette pratique ait l'avantage d'un approvisionnement facile, elle conduit généralement à des déceptions sur le plan des performances techniques, même avec des spécifications rigoureuses, et il est donc fortement recommandé de la *rejeter*.

Dans le cas d'un contrat clé en main, le coût est trop élevé car les fournisseurs doivent assumer la responsabilité contractuelle pour les travaux d'installation, et ces travaux posent beaucoup de problèmes (installation des appareils, entreprise de génie civil, câbles électriques, systèmes de communication, appareils de contrôle, etc.).

Lors de la rénovation de dispositifs sur des barrages existants, et lorsqu'un système d'auscultation automatique est inclus dans le projet d'un nouveau barrage, différentes méthodes peuvent être adoptées. Les six méthodes suivantes sont applicables :

Méthode 1. Réponses à un Appel d'Offres ou Soumission en Deux Étapes avec Prix Forfaitaire. La méthode des « réponses à un appel d'offres » est utilisée pour des services clé en main. Le maître d'ouvrage lance un appel d'offres auprès de divers fournisseurs de matériel d'auscultation automatique et inclut un document indiquant ce qui est exigé, mais non un projet détaillé. La réponse doit fournir un état des qualifications et un prix forfaitaire.

Pour plusieurs anciens projets, les spécifications ont également demandé de soumettre un projet détaillé avec la réponse à l'appel d'offres. Une telle exigence représente une charge financière lourde pour les soumissionnaires qui doivent préparer un projet à leur propre charge et sont susceptibles de ne pas recevoir l'adjudication du marché. Il est préférable d'éviter cette exigence, en demandant, à la place, un exposé général sur ce que le soumissionnaire peut fournir si le marché lui est passé. Le projet détaillé est donc établi après la passation du marché. L'adjudication est basée sur la méthode « soumission en deux étapes ».

Méthode 2. Réponses à un Appel d'Offres ou Soumission en Deux Étapes avec Prix Unitaires. Cette approche est identique à la Méthode 1, sauf que la liste détaillée des prix unitaires est fournie au lieu d'un prix forfaitaire.

Méthode 3. Deux sollicitations, Fournisseur du système d'auscultation automatique comme Vendeur. Le maître d'ouvrage lance deux sollicitations différentes, l'une pour le travail de spécialiste, l'autre pour le travail de support. Le

- spare parts
- maintenance capacities.

Prior to writing the specifications, it is necessary to define in detail what kind of controls are going to be provided on the instruments and alarms; possibilities of changes (reduction, expansion or adjustment); and the ability to access in a simple way for the resolution of changes due to technology and the requirements and needs of the Projects themselves.

8.3. CONTRACTING METHODS

For a new dam, it has been a common practice to subcontract the AMS work to the general construction contractor. Although this practice has the advantage of easy procurement, it generally leads to disappointments from a technical performance perspective even with a tight specification, and therefore is strongly recommended *against*.

In the case of the turnkey, typically, the cost is too high because the suppliers have to assume the contractual responsibility for the installation work, as this type of work has a lot of problems (instruments installation, civil contractor, electrical cables, communication systems, control equipment, etc.).

When retrofitting existing dams, and when an AMS is included in the design of a new dam different methods can be applied. The following six methods can be applied in either case :

Method 1. Competitive Proposals or Two-Steps Bidding with Lump Sum Price. The “ competitive proposals ” method, as used to date, is for turnkey services. The owner issues a solicitation document to various suppliers of AMS equipment and includes an outline of what is required but not a detailed design. The response, “ the proposal ”, must include qualifications statements and a lump sum price.

For several past projects the specifications had also asked for a detailed design to be submitted with the proposal. Such a requirement is an important financial burden for proposers who must prepare a design at their own cost and may not receive an award. It is preferable to avoid this requirement, asking instead for more general statements of what the proposer would provide if the contract is awarded to him. Then the detailed design is done after the contract is awarded. Awarding is based on the “ two-step bidding ” method.

Method 2. Competitive Proposals or Two-Steps Bidding with Unit Prices. This approach is similar to Method 1, except that the comprehensive unit price schedule is included instead of a lump sum price.

Method 3. Two Solicitations, AMS Supplier as Vendor. The owner issues two different solicitations, one for specialist work and one for support work. Support work is specified fully, and contracted on a bid basis. There are different options for

travail de support est entièrement spécifié et le marché passé sur appel d'offres. Il y a diverses options pour la méthode de choix et de passation de marché avec le vendeur du système d'auscultation automatique, une évaluation de l'offre sur la base de la qualité du matériel et du prix étant incluse.

Méthode 4. Deux sollicitations, Fournisseur du système d'auscultation automatique comme Service Professionnel. Cette approche est identique à la Méthode 3, sauf que l'intervention du fournisseur du système d'auscultation automatique est considérée comme un « service professionnel », plutôt que comme une fourniture de matériels. Le contrat avec un fournisseur de système d'auscultation automatique est négocié, en utilisant des procédures établies pour l'engagement de services techniques.

Méthode 5. Premier Rôle tenu par l'Ingénieur Conseil. Un cabinet d'ingénieur conseil est retenu par la maître d'ouvrage, en utilisant les procédures établies pour l'engagement de services techniques, en vue d'assister le maître d'ouvrage dans la préparation des documents d'appel d'offres et dans la gestion des tâches ultérieures. N'importe quelle Méthode de 1 à 4 peut être adoptée pour les travaux de spécialiste et de support.

Méthode 6. Fournisseurs du système d'auscultation automatique Rémunérés pour le Projet et l'Évaluation du Coût. Le maître d'ouvrage invite des fournisseurs potentiels du système d'auscultation automatique à soumettre des lettres indiquant que l'affaire les intéresse. Le maître d'ouvrage sélectionne deux ou trois de ces firmes pour préparer et soumettre un projet et une évaluation détaillés, pour les travaux de spécialiste et de support. Les firmes sont rémunérées pour ces travaux (le même montant accordé à chacune, sur la base d'une estimation, éventuellement sans bénéfice). Une firme est alors sélectionnée et le contrat passé est du type clé en main.

8.4. CAUTIONS RELATIVES AUX OFFRES, GARANTIE

Des cautions relatives aux offres et aux performances, existant généralement dans l'industrie de la construction, ne seront pas requises dans les spécifications pour le système d'auscultation automatique car les compagnies d'assurance n'accorderont pas, en général, de garanties aux sociétés qui exécutent ces travaux.

Il est recommandé d'obtenir auprès des fournisseurs une garantie d'exploitation sur le site pendant six mois ou un an, afin de transférer la technologie au personnel du maître d'ouvrage. Cela ne pose pas de problème dans les pays où le matériel est fabriqué, mais peut être difficile pour d'autres pays où il est nécessaire de supporter des surcoûts importants par rapport à la valeur du matériel, lorsque des garanties, des périodes d'essai ou d'entretien, compatibles avec le type de matériel et la complexité du système automatique, sont demandées.

La solution du problème susmentionné nécessite que les fournisseurs de matériel soient associés à un support technique local qui doit être convenablement formé et équipé afin de pouvoir répondre efficacement aux exigences : périodes d'essai, services de garantie-entretien, mise en place d'un service d'aide à l'utilisateur et, ce qui est très important, maintien de l'information de l'utilisateur sur les changements technologiques et sur les solutions pour l'amélioration continue du matériel.

the method of selecting and contracting with the AMS vendor which would include bid evaluation on the basis of the quality of the equipment and the price.

Method 4. Two Solicitations, AMS Suppliers as Professional Service. This approach is similar to Method 3, except that the AMS supplier's work is considered a "professional service" rather than a supply of materials. The contract with an AMS supplier is negotiated, using established procedures for the engagement of engineering services.

Method 5. Lead Role by Consulting Firm. A consulting firm is retained by the owner, using established procedures for the engagement of engineering services, to assist the owner in preparation of solicitation documents and managing all subsequent tasks. Any one of Methods 1 through 4 can be used for specialist and support work.

Method 6. AMS Suppliers Paid for Design and Quotation. The owner invites potential AMS suppliers to submit letters of interest. The owner then selects two or three of these firms to prepare and submit a detailed design and quotation, for both specialist and support work. The firms are paid for this task (the same agreed amount to each, on an estimate, possibly without profit). One firm is then selected and the contract is for a turnkey package.

8.4. BID BONDS, WARRANTY

Bid bonds and performance bonds, prevalent in the construction industry, should not be required in specifications for AMS because insurance companies will normally not provide bonding to companies which typically do this work.

It is recommended to obtain an on-site operating warranty for six months or one year from the suppliers, to transfer the technology to owner's personnel. This poses no problem in countries where the equipment is made but may not be easy for the others where it is needed to support important extra-cost related to the value of equipment when warranties, testing or maintenance periods, compatible with the type of equipment and the complexity of the automatic system, are asked for.

The solution to the above-mentioned problem requires that the equipment-providing companies (suppliers) should associate with a local technical support which must be conveniently trained and equipped in order to be able to respond efficiently to the requirements of testing periods, warranty-maintenance services, setting-up of a user's support service and, most importantly, keeping the user well-informed about technological changes and about alternatives for the continued improvement of the equipment.

9. INSTALLATION DU SYSTÈME

Note : L'installation des appareils de mesure proprement dits n'est pas traitée dans le présent Bulletin. Dans un barrage nouveau, cette installation sera faite en même temps ou après celle du système d'acquisition automatique de données, ce qui est réalisé en prenant des dispositions pour tous les appareils en vue de leur raccordement au fur et à mesure que la construction du barrage atteint le niveau où des appareils doivent être mis en place.

9.1. PROCÉDÉ D'INSTALLATION

Les travaux à accomplir pour l'installation d'un système d'auscultation automatique comprennent les étapes suivantes :

- Préparation de la configuration la plus appropriée des réseaux de câbles suivant les spécifications du projet;
- Pose de tous les câbles nécessaires;
- Pose du conducteur de mise à la terre;
- Installation des tableaux de terminal et des boîtes de groupement d'appareils;
- Câblage et raccordement des câbles;
- Essai.

9.1.1. Réseaux de câbles

Les câbles seront posés en utilisant des réseaux qui relient tous les éléments constituant le système d'auscultation.

Divers types de réseaux peuvent être adoptés suivant le type du barrage et l'emplacement du matériel et des capteurs constituant le système. Les réseaux le plus couramment utilisés sont les suivants :

- Câble support en métal galvanisé au zinc;
- Puits en béton;
- Passerelle métallique;
- Conduit en acier galvanisé et/ou en acier inoxydable;
- Profilé métallique de fixation de câble, avec liens d'attache;
- Tuyau en PVC, de résistance élevée, pour installation en tranchées.

9.1.2. Pose des câbles

La pose des câbles dans les réseaux préalablement préparés doit être exécutée avec soin, afin d'éviter l'enchevêtrement des câbles. Les câbles seront tirés en utilisant des tourets afin d'éviter de causer des dommages sur les surfaces des câbles.

9. SYSTEM INSTALLATION

Note :The installation of the instruments themselves is not covered by this Bulletin. In a new dam, they are usually installed with or after the ADAS, which is made with provisions for all instruments, for their connection as dam construction reaches the stage for subsequent instruments to be installed.

9.1. INSTALLATION PROCEDURE

The work to be done for the installation of an automatic monitoring system consists of the following steps:

- Preparation of the most suitable cable runs according to the design specifications;
- Laying of all the required cables;
- Laying of the grounding conductor;
- Installation of the terminal boards and instrument grouping boxes;
- Wiring and cable connection; and
- Testing.

9.1.1. Cable Runs

The cables must be laid using runs that connect all the components of the monitoring system.

Various types of cable runs can be used, according to the type of the dam and the location of the equipment and sensors making up the system. The most commonly employed cable runs are:

- Zinc-galvanized metal support cable;
- Concrete shaft;
- Metal catwalk;
- Galvanized steel and/or stainless steel conduit;
- Cable-fixing metal profile with strap clamp; and
- Heavy duty PVC pipe for burying in trenches.

9.1.2. Cable Laying

The laying of the cables in the previously prepared runs has to be done with care, so as to avoid the cables crossing over each other. The cables should be drawn using reel supports and rollers to avoid damage to the cable surfaces.

9.1.3. Pose du conducteur de mise à la terre

Le conducteur de mise à la terre suit normalement tout le circuit des câbles et est posé avant les câbles de façon à éviter des dégâts sur les gaines de protection.

La compatibilité électromagnétique nécessite que le fil en cuivre de mise à la terre soit mis en contact avec la terre et le corps du barrage, approximativement tous les 50 mètres de son circuit. En présence de passerelles et de conduits métalliques, le fil en cuivre doit être connecté avec une bonne conductivité électrique, à des intervalles de 50 mètres environ.

9.1.4. Installation des tableaux de terminal et des boîtes de groupement d'appareils

Ces travaux comprennent l'installation de boîtes et de tableaux pré-assemblés.

La boîte terminale d'un capteur ne doit pas être installée à plus de 3 mètres de l'appareil, étant donné qu'il contient la connexion de mise à la terre et le dispositif de protection. Compte tenu des conditions climatiques locales, les boîtes choisies seront en fibre de verre auto-extinctrice, ne produisant pas de gaz toxiques et offrant un degré de protection supérieur à IP 55. Des radiateurs de chauffage, ou des dessiccateurs et ventilateurs seront installés dans les milieux présentant une humidité relative élevée.

Lorsque cela apparaît économique, les boîtes de groupement d'appareils utiliseront des multicâbles (permettant plus de raccordements de capteurs) de façon à rationaliser les circuits de câbles. Ces boîtes seront constituées du même matériau et offriront le même degré de protection que les boîtes de terminal.

Les boîtes de terminal et les boîtes de groupement d'appareils seront fixées verticalement à au moins 1 cm du mur support.

9.1.5. Câblage et raccordement des câbles

Les extrémités des câbles seront préparées, avec enlèvement des diverses gaines, pour le raccordement à la terre, et protection satisfaisante des fils en cuivre. En général, des embouts de qualité élevée et de dimension adéquate, seront installés pour terminer les fils.

Chaque câble doit être identifié avec des étiquettes afin de faciliter le procédé de câblage suivant les plans détaillés établis au cours de la phase de projet. Les longs circuits de câbles depuis les appareils de mesure seront marqués, à des intervalles fréquents, pour identification ultérieure en cas de détérioration accidentelle.

9.1.6. Essai de fonctionnement

L'essai est destiné à s'assurer que l'ensemble du système, lorsqu'il est contrôlé aux connecteurs entrée/sortie de l'appareil de contrôle du réseau, répond aux spécifications de projet. Les points suivants feront donc l'objet d'essais :

- Les raccordements électriques pour chaque capteur/transducteur ;
- L'intégrité de la mise à la terre ;

9.1.3. Laying the Grounding Conductor

The grounding conductor normally follows the whole cable run, and is laid before the cables so as to avoid damage to the sheaths.

Electromagnetic compatibility requires that the copper grounding wire is placed in contact with the earth and the dam structure at approximately every 50 meters of its run. In the presence of metal catwalks and conduits, the copper wire has to be connected with good electrical conductivity at approximately 50 meters intervals.

9.1.4. Installation of Terminal Boards and Instrument Grouping Boxes

This work involves the installation of pre-assembled boxes and boards.

The sensor terminal box must be installed at no more than 3 meters from the instrument, as it has to contain the ground connection and protection device. Taking into account the local climatic conditions, the boxes chosen should be of a self-extinguishing glass fiber which does not produce toxic gases, and which offers a degree of protection not inferior to IP55. Suitable heaters or de-humidifiers and fans should be installed in environments that present high relative humidity.

Where considered economical, the instrument grouping boxes should use multi-cables (which permit more sensor connections) so as to rationalize the cable runs. These boxes should be constructed from the same material and offer the same degree of protection as the terminal boxes.

Both the terminal boxes and the instrument grouping boxes should be fixed vertically at least 1 cm from the supporting wall.

9.1.5. Wiring and Cable Connection

The ends of the cables have to be prepared, with the removal of the various sheaths, for the connection of the various screens to the earth, and the adequate protection of the copper wires. In general, high quality crimp-on terminals of the proper size should be used to terminate the wires.

Each cable must be identified with permanent labels or tag numbers in order to facilitate the wiring procedure according to the detailed drawings produced during the design phase. Long cable runs from instruments should be marked at frequent intervals for subsequent identification in case of accidental damage.

9.1.6. Functional Testing

Testing has to be directed at ensuring that the whole system, when monitored at the input/output connectors of the network monitor, responds to the design specifications. Accordingly, the following aspects of the system have to be tested :

- The electrical connections for each sensor/transducer;
- The integrity of the grounding;

- Le raccordement des dispositifs de protection contre les surtensions ;
- La continuité du capteur/transducteur jusqu'au raccordement de l'appareil de contrôle du réseau (essai en boucle) ;
- La vérification que la lecture de l'appareil de mesure est la même au capteur qu'à l'entrée dans le système d'acquisition automatique de données.

Pour ces essais, il est proposé d'utiliser une " Fiche d'essai de fonctionnement " figurant à la fin du présent chapitre.

9.2. DOCUMENTATION

Le dispositif installé doit correspondre aux spécifications détaillées du projet final.

Tous les éléments du système d'acquisition automatique de données seront parfaitement identifiés d'après les plans détaillés.

Les modifications apportées au cours de l'installation du système d'auscultation du barrage, à la demande du maître d'ouvrage ou pour des raisons techniques en vue de l'amélioration et de la rationalisation du système, doivent faire l'objet d'un document justificatif. Dans ce but, une fois l'installation terminée, le document « tel que construit » est publié ; il contient le projet final corrigé pour les parties ayant été sujettes à des modifications.

Afin que le document « tel que construit » puisse être produit avec toutes les informations nécessaires, le directeur de chantier (chef de chantier ou chef des travaux d'installation du système) est responsable de la coordination technique des travaux, qui doit être faite de façon continue et attentive. La présence continue du directeur de chantier est également recommandée pour régler les problèmes concernant les mesures de sécurité sur le chantier de travaux. Le directeur de chantier doit également coordonner, à tout moment, les activités des diverses entreprises présentes sur le site, de façon à éviter des interférences entre les diverses activités en cours. Cette tâche est particulièrement difficile et importante au cours de l'installation d'un système d'auscultation automatique pendant les travaux de construction du barrage.

- The connection of the power surge protection devices;
- The continuity of the sensor/transducer to network monitor connection (Loop test); and
- Verify that the instrument reading is the same at the sensor as at the input to the ADAS.

For the testing activities it is suggested to use a “ Functional Test Form ” included at the end of this Section.

9.2. DOCUMENTATION

The finished system must correspond to the detailed specifications of the final design.

All the ADAS components must be well identified according to the detailed drawings.

Variations introduced during the installation of the dam monitoring system, on the request of the Owner or for technical reasons for the improvement and rationalization of the system, must be adequately documented. To this end, once the installation has been completed, the “ as built ” document is issued, containing the final design corrected for those parts that have been subject to modifications.

In order that the “ as-built ” document can be produced with all the necessary information, the Site Manager (Field Manager or System Installation Manager) is responsible for the continuous and careful technical and operative co-ordination of the project. The continuous presence of the Site Manager is also recommended for matters relating to the measures for safety at work to be adopted on site. The Site Manager also has to co-ordinate the activities of the contractors present on the site at any one time, so as to avoid interference between the various project work items being done. This task is particularly difficult and important during the installation of an automatic monitoring system while the dam itself is under construction.

FICHE D'ESSAI DE FONCTIONNEMENT

Brève désignation du point d'installation _____

Type d'appareil (i.e., EXTENSOMÈTRE)

AMÉNAGEMENT _____

Capteur _____ Matériel de conditionnement _____

Modèle _____ Modèle _____

Numéro de série _____ Numéro de série _____

Brève désignation _____

Plage de mesure (échelle grandeur nature de l'unité technique) $Y_f = \text{---} [\text{mm}]$

Plage électrique de la chaîne de mesure $C = \text{---} [\text{V}]$

Facteur de conversion $A = Y_f/C = \text{---} [\text{mm/V}]$

Échelle grandeur nature électrique de la chaîne de mesure $X_f = \text{---} [\text{V}]$

Valeur de décalage de la chaîne de mesure $B = Y_f - AX = \text{---} [\text{mm}]$

	S [mm]	X [mm]	Y [mm]	E [mm]	D [mm]
0					
1					
2					
3					

S : Domaine de référence étalonné

X : Valeur mesurée aux terminaux électriques _____

Y : Position évaluée du curseur : $Y = AX + B$

E : Déplacement relatif du curseur ($Y_i - Y_0$)

D : Erreur de mesure (E-S)

Mesure de référence finale

Mesure aux terminaux électriques $X = \text{---} [\text{V}]$

Mesure extensométrique $Y = AX + B = \text{---} [\text{mm}]$

Mesure au comparateur centésimal $= \text{---} [\text{mm}]$

Date _____

Signature de l'ingénieur _____

FUNCTIONAL TEST FORM	Installation point short-name
Kind of instrument (i.e., EXTENSOMETER)	
PLANT _____	

Sensor	_____	Conditioning equipment	_____
Model	_____	Model	_____
Serial number	_____	Serial number	_____
Short name	_____		

Measurement range (engineering unit full scale)	Yf	= _____[mm]
Measurement chain electrical range	C	= _____[v]
Conversion factor	A = Yf/C	= _____[mm/v]
Measurement chain electrical full scale	Xf	= _____[V]
Measurement chain offset value	B = Yf-AX	= _____[mm]

	S [mm]	X [mm]	Y [mm]	E [mm]	D [mm]
0					
1					
2					
3					

- S : Calibrated reference range
- X : Value measured at electrical terminals _____
- Y : Evaluated cursor position : $Y = AX + B$
- E : Relative displacement of the cursor ($Y_i - Y_0$)
- D : Measurement error (E-S)

Final Reference Measurement	
Measurement at electrical terminals	X = _____ [V]
Extensometer measurement	$Y = AX + B$ = _____ [mm]
Centesimal comparator measurement	= _____ [mm]

Date _____

Engineer Signature _____

10. EXPLOITATION ET ENTRETIEN

10.1. GÉNÉRALITÉS

Afin que l'exploitation à long terme d'un système d'auscultation automatique donne satisfaction, il est nécessaire que les éléments constituant le système soient convenablement entretenus et étalonnés. Les besoins d'entretien du système seront établis par l'ingénieur de surveillance, et un programme et une méthodologie pour l'entretien du système seront mis au point en fonction des ressources disponibles (budget et personnel qualifié).

Un manuel d'exploitation et d'entretien spécifique au site sera préparé pour le dispositif d'auscultation automatique. Il comprendra les documents suivants (liste non limitative), établis de façon aussi détaillée que possible :

- Vue d'ensemble du dispositif d'auscultation automatique, décrivant l'emplacement du dispositif, le but de l'auscultation, la situation des appareils de mesure sur le site et les types des appareils. Pour un réseau réparti, une description du réseau de communication sera également incluse.
- Description du matériel (y compris le matériel informatique pour le système d'acquisition automatique de données, le système de transmission de données et le système de traitement de données; communication et puissance), graphiques de câblage et graphiques d'installation conformes à l'exécution. Les manuels du fabricant seront mentionnés comme références ou inclus en annexes.
- Description et exploitation des logiciels utilisés pour la lecture (lectures automatiques et ponctuelles) des appareils de mesure et la vérification des communications. Les manuels concernant les logiciels du fabricant seront mentionnés comme références ou inclus en annexes.
- Description et exploitation concernant l'accès à distance au logiciel : de nombreux systèmes donnent la possibilité de diagnostics à distance et de transfert de données. Ces systèmes présentent l'avantage que les dépannages peuvent être effectués à distance par du personnel qualifié à demeure ou appartenant au fabricant.
- Description de l'annonce d'alarmes, le cas échéant. Également, procédé de mise en service/mise hors service des alarmes.
- Description des sources d'énergie pour l'alimentation des appareils de mesure à chaque emplacement.
- Description de chaque type d'appareil d'auscultation, comprenant les caractéristiques de fonctionnement, les graphiques de câblage, le domaine des lectures, la précision, les procédés d'ajustement et d'étalonnage et la conversion des données de sortie des appareils (tension, courant ou fréquence) en unités techniques. Les manuels du fabricant seront mentionnés comme références ou inclus en annexes.

10. OPERATION AND MAINTENANCE

10.1 GENERAL

A successful long-term AMS operation requires that the components of the system are properly maintained and calibrated. The requirements for maintenance of each AMS should be assessed by the surveillance engineer and a schedule and methodology for maintaining the system developed depending on the available resources (budget and trained personnel).

A site specific Operation and Maintenance Manual (O&M Manual) for AMS should be prepared. It should include (but not be limited to) the following topics in as much detail as practical:

- An overview of AMS describing the location of the project, the purpose of monitoring, the location of the instruments at the project site and the type of instruments being monitored. For a distributed network, it should also include an overview of the communication network.
- Description of equipment (including hardware for ADAS, DTS and DPS; Communication and Power) and as-built wiring diagrams and installation diagrams. The manufacturer's manuals should be referenced or included as appendices.
- Description and operation of software used for reading (both automatic and spot readings) the instruments and checking the communication. The manufacturer's software manuals should be referenced or included as appendices.
- Description and operation for remote software access: many systems allow the capability for remote diagnostics and data transfer. These systems have the advantage that troubleshooting can be done remotely by either in-house or manufacturer's skilled personnel.
- Description of alarm annunciation, if applicable. Also, how to enable/disable alarms.
- Description of power sources for energizing the equipment at each location.
- Description of each type of monitoring instrument including power conditioning, wiring diagrams, range, precision, adjustment and calibration procedures and converting instrument output (voltage, current or frequency) to engineering units. The manufacturer's manuals should be referenced or included as appendices.

Du personnel qualifié doit être formé pour effectuer l'entretien du système d'auscultation automatique. Le personnel aura une connaissance approfondie de l'exploitation du système spécifique au site afin de réussir les dépannages et de corriger les problèmes. La décision d'engager des spécialistes ou de former du personnel existant sera prise par les maîtres d'ouvrage ou d'autres personnes désignées.

La réussite d'un programme d'entretien dépend des bonnes relations entre le personnel chargé de l'analyse des données et de l'établissement de rapports et le personnel chargé de l'entretien sur le site. Une bonne connaissance, par ces deux personnels, de l'exploitation de routine du système est la clé de la réussite de l'exploitation à long terme d'un dispositif d'auscultation automatique.

10.2. TÂCHES D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN

Les tâches d'exploitation et d'entretien présentent quatre aspects :

10.2.1. Essais de fonctionnement

Ils comprennent des essais et des étalonnages nécessaires à l'exploitation de routine du système. La fréquence d'étalonnage dépend des spécifications relatives aux appareils de mesure. Un intervalle d'étalonnage de 6-12 mois est suffisant pour la plupart des types d'appareils.

10.2.2. Essais programmés du système

Des essais périodiques seront exécutés sur tous les canaux de mesure pour vérifier le bon fonctionnement du système d'auscultation. Ces essais comprendront :

- Mesure de résistance de boucle et comparaison avec les valeurs antérieures et les critères d'acceptation;
- Comparaison des mesures manuelles ponctuelles sur les appareils avec les valeurs mesurées par le dispositif d'auscultation automatique;
- Si le capteur ou le transducteur est accessible et peut être étalonné sur place, exécution d'un essai d'étalonnage de l'appareil;
- Déconnexion du câble in situ et étalonnage de l'interface avec le système d'auscultation automatique, en appliquant des signaux d'étalonnage convenables aux terminaux de saisie de données, et en notant la valeur brute du signal et la valeur technique calculée affichée par le système d'auscultation automatique.

Il est recommandé que ces essais programmés du système soient effectués annuellement.

10.2.3. Entretien préventif

Au cours de ces dernières années, le matériel informatique pour les systèmes d'acquisition de données est devenu très robuste et l'entretien préventif consiste

Qualified personnel must be trained to carry out the maintenance of the AMS. Personnel must have a thorough understanding of the operation of the site specific AMS to carry out successful troubleshooting and correct problems. Whether to hire specialized staff or to train existing personnel should be decided by the dam owners or other designated persons.

A successful maintenance program depends on timely communications between the person-in-charge of data analysis and reporting and the person-in-charge of field maintenance. Familiarity of these two personnel with routine system operation is the key to successful long-term operation of an AMS.

10.2. OPERATION AND MAINTENANCE TASKS

There are four aspects to operation and maintenance:

10.2.1. Operational Tests

This includes tests and calibrations necessary for routine operation of the system. The frequency of calibration is dependent on the specifications of the measurement instrument. A 6-12 month calibration interval is adequate for most types of instruments.

10.2.2. Scheduled System Tests

Periodic system tests should be carried out on all measurement channels to verify proper functioning of the monitoring system. These tests should include:

- Measurement of loop resistance and comparison with previous values and acceptance criteria,
- Compare manual spot instrument readings with values measured by the AMS,
- If the sensor or transducer is accessible and can be calibrated in place perform a calibration test of the instrument,
- Disconnect the field cable and calibrate the interface to the AMS by applying appropriate calibration signals to the input terminals and note the raw signal value and calculated engineering value displayed by the AMS.

It is recommended that scheduled system tests be carried out on a yearly basis.

10.2.3. Preventive Maintenance

In recent years, hardware for data acquisition systems has become very robust and preventive maintenance usually consists of visual checks for damaged cables,

généralement en des contrôles visuels des câbles endommagés, des connexions desserrées, des dégâts causés par l'humidité, en des remplacements périodiques de batteries, et en des réglages radio. Les points pouvant être vérifiés sont les suivants :

a) *Vérification générale depuis un PC situé sur le site du barrage :*

- Vérification des liaisons de communication avec l'unité d'auscultation locale (UAL) et l'unité d'auscultation à distance (UAD)
- Vérification des lectures ponctuelles d'appareils
- Inspection et entretien des ordinateurs (nettoyage de l'écran, entretien de l'imprimante, etc.)

b) *Inspection et entretien des unités d'auscultation locales/à distance (UAL/UAD) et des capteurs intelligents :*

- Vérification des batteries
- Vérification de la tension
- Vérification des fusibles
- Vérification des diodes électroluminescentes
- Nettoyage du matériel

c) *Inspection et entretien du système de contrôle central de réseau :*

- Inspection des raccordements
- Inspection des commutateurs
- Nettoyage du matériel

d) *Inspection et entretien des capteurs et transducteurs :*

- Inspection externe des appareils accessibles
- Inspection des connexions
- Inspection des tensions
- Nettoyage des appareils

e) *Vérification générale depuis un PC situé au bureau central :*

- Vérification des liaisons de communication avec le PC situé sur le site du barrage. Dans certains réseaux répartis utilisant plusieurs systèmes de contrôle central de réseau, le PC situé au bureau central peut être directement relié aux UAD. Dans ce cas, vérifier les liaisons de communication avec les UAD

- Vérification des lectures ponctuelles
- Inspection et entretien des ordinateurs (nettoyage de l'écran, entretien de l'imprimante, etc.)
- Vérification des disques durs (ou autres moyens de sauvegarde de données)

f) *Inspection et entretien du matériel de mesure manuelle :*

- Vérification du fonctionnement
- Vérification des batteries
- Nettoyage du matériel

loose connections, water damage, periodic battery replacements and radio tuning. Items that may be checked are as follows :

a) General checking from the PC located at the dam site :

- Checking of communication with LMU and RMU
- Checking of spot instrument readings
- Inspection and maintenance of the computer systems (screen cleaning, printer cleaning, etc.)

b) Inspection and maintenance of the LMU/RMU and smart sensors :

- Checking of batteries
- Checking of energizing voltage
- Checking of fuses
- Checking of LED's
- Cleaning of the equipment

c) Inspection and maintenance of the CNM :

- Inspection of connections
- Inspection of switches
- Cleaning of equipment

d) Inspection and maintenance of sensors and transducers :

- External inspection of accessible instruments
- Inspection of connections
- Inspection of energizing voltages
- Cleaning of instruments

e) General checking from the PC at a central office :

– Checking of communication with the dam PC. In some distributed networks using multiple CNM, the central office PC may be directly connected to RMUs. In this case, check communications to RMUs.

- Checking of spot readings
- Inspection and maintenance of the computer systems (screen cleaning, printer cleaning, etc.)
- Checking of hard disk (or other means of saving data)

f) Inspection and maintenance of the manual reading equipment :

- Checking of operation
- Checking of batteries
- Cleaning of equipment

10.2.4. Entretien correctif

Une approche pas-à-pas en vue de dépanner et d'isoler les éléments défectueux sera mise au point et un document sera établi pour chaque site équipé d'un système d'auscultation automatique. Une approche pas-à-pas peut comporter :

- Des diagnostics au niveau du réseau pour isoler les unités d'auscultation locales (UAL) et les unités d'auscultation à distance (UAD) ne communiquant pas avec le système de contrôle central de réseau, ou le système de traitement de données ne communiquant pas avec le système de contrôle central de réseau.
- Des diagnostics au niveau unitaire pour isoler les composants défectueux (en général, des réparations sur un circuit entier sont très difficiles in situ) dans une UAL, une UAD, un système de contrôle central de réseau, ou un système de traitement de données. Si un inventaire des tableaux de circuit de rechange est tenu à jour, la tâche devient plus facile étant donné que les tableaux défectueux peuvent être isolés et remplacés par de bons tableaux, un seul à la fois. Les recommandations du fabricant doivent être prises en considération lors de la rédaction des procédures spécifiques au site.
- Des problèmes concernant des liaisons de communication peuvent conduire à des dépannages sur des dispositifs radio, micro-onde, satellite, modem, ou autres dispositifs de communication utilisés dans le système d'auscultation automatique.
- Des problèmes d'alimentation en énergie, tels que défaillances de batteries, chargeurs, chargeurs solaires, régulateurs.
- Des problèmes concernant un appareil de mesure peuvent être isolés en alimentant directement en énergie l'appareil et en mesurant la sortie.

Les procédures pour chacune de ces interventions doivent être clairement définies dans le manuel d'exploitation et d'entretien.

10.3. TENUE À JOUR DE REGISTRES

Il est important de tenir à jour un registre de toutes les interventions effectuées sur le système ou ses composants. La meilleure solution est d'établir une fiche individuelle pour chaque appareil de mesure, système de contrôle central de réseau, unité d'auscultation locale (UAL), unité d'auscultation à distance (UAD) et système de traitement de données, afin de connaître rapidement l'exploitation dans le passé avant une visite du site. De tels enregistrements aident également à identifier des problèmes périodiques et à trouver des solutions possibles.

Il convient souvent d'établir des fiches d'enregistrement fonctionnement/étalonnage, qui seront remplies par le personnel d'exploitation.

10.4. PIÈCES DE RECHANGE

La réparation de la plupart du matériel moderne nécessite des outils spéciaux et des connaissances spéciales. En général, ces éléments ne sont pas disponibles sur les sites de barrages pour l'exécution de réparations in situ. Un inventaire des UAL/UAD de rechange et des composants de rechange pour UAL, UAD et

10.2.4. Corrective Maintenance

A step-by-step approach to troubleshooting and isolating faulty components should be developed and documented for each AMS site. A step-by-step approach may involve:

- Network level diagnostics to isolate LMU and RMU not communicating to CNM, or DPS not communicating with CNM.

- Unit level diagnostics to isolate faulty components (usually an entire circuit board as repairs are very difficult in the field) in an LMU, RMU, CNM or DPS. If an inventory of spare circuit boards is maintained, the task becomes easier since the faulty board can be isolated by substituting good boards, one at a time. The manufacturer's recommendations must be considered in writing site specific procedures.

- Communication problems may include troubleshooting radio, microwave, satellite, modem or other means of communication devices used in the AMS.

- Power problems such as failed batteries, chargers, solar chargers, regulators.

- Instrument problems can be isolated by powering the instrument directly and measuring the output.

The procedures for each of these steps must be clearly defined in the O&M Manual.

10.3. RECORD KEEPING

It is important to keep proper record of any work done on the system or components. It works best if separate files are maintained for each measurement instrument, CNM, LMU, RMU and DPS so that the history of operation can be quickly read prior to a site visit. Such records also help to identify recurring problems and possible solutions.

It is often convenient to develop “ service/calibration record forms ” that must be filled out by the servicing personnel.

10.4. SPARE PARTS

The repairing of most modern equipment requires specialized tools and specialized knowledge. In general, both of these are not available at dam sites to carry out the board level repairs in field. An inventory of spare LMU/RMU and spare components for LMU, RMU and CNM is necessary if any extended break-

système de contrôle central de réseau est nécessaire si toute extension de pannes ne peut être tolérée pour des préoccupations de sécurité. L'inventaire peut également comprendre des remplacements pour les capteurs et transducteurs critiques dans le programme d'auscultation. Un système de contrôle d'inventaire peut être adopté afin que le stock soit convenablement maintenu.

Certains capteurs sont parfois inaccessibles et nécessitent d'importants travaux de génie civil et de forage pour leur remplacement. Les points suivants seront pris en compte lorsque la décision de remplacer un capteur inaccessible sera prise :

- Importance du capteur défectueux dans le programme d'auscultation;
- Coût des travaux de génie civil et de forage pour le remplacement du capteur;
- Causes des dégâts et probabilité de réapparition de dégâts (durée de vie estimée);
- Existence d'autres capteurs pouvant remplacer le capteur endommagé.

downs can not be tolerated due to safety concerns. The inventory may also include replacements for critical sensors and transducers in the monitoring program. An inventory control system may be adopted so that the stock can be properly maintained.

Some sensors may be inaccessible and may require extensive civil works and drilling for replacement. The following considerations should be given in deciding to replace an inaccessible sensor :

- Importance of the failed sensor in the monitoring program;
- Cost of civil works and drilling in replacing the sensor;

- Reasons for damage and likelihood of damage occurring again (estimated life); and
- Existence of other sensors that may be substituted in place of the damaged sensor.

11. PERSONNEL D'EXPLOITATION

11.1. ORGANISATION DU PERSONNEL D'EXPLOITATION

Dans le domaine de la surveillance des barrages, du personnel est nécessaire pour les tâches suivantes :

- Inspections visuelles, établissement de rapports, analyses, actions et essais;
- Acquisition de données pour l'auscultation « à court terme » (un petit nombre de capteurs, lus fréquemment);
- Acquisition de données pour l'auscultation « à long terme » (un grand nombre de capteurs, lus peu fréquemment);
- Transmission des données;
- Entretien, étalonnage, essai et réparation du matériel d'auscultation;
- Analyses, rapports, actions;
- Évaluation de la sécurité du barrage.

L'installation d'un système d'auscultation automatique ne garantit pas une réduction de personnel. Comme précédemment indiqué, une main-d'œuvre pour les inspections visuelles doit être maintenue. Bien que l'acquisition des données pour l'auscultation « à court terme » puisse être entièrement automatisée, les économies de personnel peuvent être faibles car la période d'observation est courte et le nombre de mesures requises est généralement petit. En ce qui concerne l'acquisition des données dans les programmes d'auscultation « à long terme », où l'intervalle de temps entre lectures est long, par exemple deux semaines ou un mois, le remplacement d'interventions manuelles est possible, mais à des coûts d'installation comparativement élevés, en particulier s'il y a un grand nombre de capteurs dans le système. La transmission des données peut être effectuée automatiquement. Les économies de main-d'œuvre ne sont pas importantes. Enfin, dans le domaine des analyses et de l'établissement de rapports, la réduction du travail manuel peut être importante. Par contre, un système automatique nécessite des capacités nouvelles pour l'exploitation et l'entretien supplémentaire.

En résumé, on peut faire ressortir que les économies de main-d'œuvre peuvent, en général, ne pas être un argument pour l'automatisation. Le nombre d'opérateurs « traditionnels » peut être réduit, mais du personnel nouveau pour l'exploitation du système d'auscultation automatique doit être engagé.

En ce qui concerne le personnel, les systèmes automatiques présentent des avantages : il est moins nécessaire d'exposer le personnel à des situations dangereuses résultant de conditions d'accès difficiles, et de concentrer les opérations sur des périodes de travail « régulières », c'est-à-dire de jour; par exemple, des visites programmées d'un barrage peuvent être ajournées au cours de périodes de forte chute de neige.

Les barrages étant des ouvrages de génie civil très particuliers et « individuels », et de nombreuses disciplines techniques intervenant dans l'exploitation, l'auscultation et l'entretien (telles que le génie civil, la géologie, les techniques

11. OPERATING PERSONNEL

11.1. ORGANIZATION FOR OPERATING PERSONNEL

In the field of dam surveillance, personnel are required for :

- Visual inspections, reporting, analyses, actions, and testing;
- Data acquisition for “ short-term ” monitoring (small number of sensors, often read);
- Data acquisition for “ long-term ” monitoring (large number of sensors, not often read);
- Data transmission;
- Maintenance, calibration, testing, and repair of monitoring equipment;
- Analyses, reporting, actions; and
- Dam safety assessment.

With the implementation of an automated monitoring system, reduction of personnel is not guaranteed. As mentioned before, manpower for visual inspections must be maintained. Although data acquisition for “ short-term ” monitoring can be quite fully automated, personnel savings may be limited because the observation period is short and the number of measurements required is generally small. For data acquisition for “ long-term ” monitoring programs where the time interval between readings is long, for example once every two weeks or once a month, replacement of manual intervention is possible, but at comparatively high installation costs in particular if there are a large number of sensors in the system. Data transmission can be done automatically. Savings in manpower are not important. Finally, in the field of analyses and reporting, the reduction of manual work can be considerable. On the other hand, an automated system needs new capabilities for operation and additional maintenance.

Summarizing, it can be emphasized that savings in manpower can usually not be an argument for automation. The number of “ traditional ” operators can be reduced but new personnel for the service of the automated monitoring system must be employed.

Advantages of automated systems in the field of personnel are the reduced necessity to expose personnel to dangerous situations due to difficult access conditions and to concentrate the work on “ regular ” working times, i.e. daytime, working days. (e.g. a scheduled visit to a dam can be skipped or postponed during periods of intense snowfall).

Since dams are most special and “ individual ” civil engineering structures and many engineering disciplines are involved in operation, monitoring and maintenance (such as civil engineering, geology, electrotechnical/electrical

électrotechnique/électronique et la technologie de l'information), la surveillance et la coordination de toutes les activités par un seul ingénieur est indispensable. Cet ingénieur de sécurité de barrage doit être expérimenté dans la technique des barrages – il sera, de préférence, un ingénieur de génie civil, capable de prendre des décisions et de mener des actions très rapidement.

11.2. CONDITIONS REQUISES POUR LE PERSONNEL

Du fait que la sécurité est en jeu et en raison des problèmes spéciaux à résoudre, le personnel à tous les niveaux de l'organisation doit être particulièrement bien qualifié dans divers domaines :

- Connaissances techniques générales et particulières;
- Bonne connaissance du barrage, des ouvrages annexes et du matériel d'auscultation;
- Conscience des problèmes impliqués;
- Responsabilité;
- Disponibilité;
- Autorité et pouvoir de prise de décisions.

Ces divers points nécessitent une instruction et un entraînement particuliers du personnel. Les connaissances nécessaires doivent être entretenues et mises à jour en permanence à l'intérieur de l'organisation. Un surplus de personnel doit être garanti et le remplacement du personnel partant doit être réglé à temps.

Une source indispensable de connaissances est constituée par des pièces écrites donnant des informations détaillées et complètes sur l'aménagement et le système de surveillance en particulier, ainsi que par des règles écrites pour le personnel chargé de la surveillance.

Une formation régulière du personnel responsable de l'exploitation d'un système d'auscultation automatique est aussi vitale que dans le cas où il n'y a pas d'automatisation. L'automatisation ne peut remplacer les décisions de l'homme. On ne peut jamais se reposer uniquement sur le système automatique, car l'expérience montre que la plupart des incidents ne sont pas dus à des problèmes de barrage, mais à des problèmes concernant le système d'auscultation.

En plus de tous les aspects de formation pour l'auscultation « manuelle », la formation du personnel pour un système automatique doit se concentrer sur les autres aspects suivants :

- Comment vérifier la fiabilité d'un système automatique en service;
- Comment analyser les signaux d'alarme (dépassement des valeurs limites, etc.) et quelles mesures prendre;
- Comment exploiter et entretenir un système automatique;
- Comment détecter des défaillances et remplacer les éléments défectueux.

Il importe que la compréhension et l'entretien d'un système d'auscultation automatique ne soient pas laissés uniquement à des spécialistes. Des opérateurs locaux doivent être capables également de vérifier l'état et le fonctionnement du système et de faire de leur chef un entretien au premier niveau.

engineering and information technology), supervision and coordination of all activities by a single engineer is indispensable. This Dam Safety Engineer must be an engineer experienced in the engineering of dams, preferably a civil engineer, available for decision making and actions within a reasonably short time.

11.2. PERSONNEL REQUIREMENTS

Because safety is at stake and because of the special problems to be solved, personnel on all organizational levels must be well qualified regarding :

- General and special technical knowledge;
- Familiarity with the dam, the appurtenant devices and monitoring equipment;
- Awareness of the problems involved;
- Responsibility;
- Availability; and
- Authority and ability to make decisions.

These issues require special instruction and training of personnel. The necessary know-how must be maintained and updated permanently within the organization. Redundancy of personnel must be guaranteed and the replacement of personnel who leave must be cleared in time.

An indispensable source of knowledge is a thoroughly written documentation of the plant and the surveillance system in particular as well as written rules for the personnel in charge of surveillance.

Regular training of personnel responsible for operating an automated monitoring system is as vital as without automation. Automation can not replace human decisions; they are just moved from one field to another. One can never rely on the automated system alone since the experience shows that most (hopefully all) incidents are not due to dam problems, but to problems of the monitoring system.

In addition to all aspects of training for “ manual ” monitoring, training of personnel for an automated system must concentrate on the following additional aspects :

- How to check the reliability of a working automated system;
- How to analyze alarm signals (exceedence of limiting values, etc.) and what actions to take;
- How to operate and maintain an automated system; and
- How to detect faults and replace defective components.

It is very essential that understanding and maintenance of an automated monitoring system is not left to specialists alone. Local operators should also be able to check the state and behavior of the system and to do first level maintenance on their own.

12. ÉVOLUTION FUTURE DES SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE

12.1. L'IMPORTANCE DES SYSTÈMES D'AUSCULTATION AUTOMATIQUE DANS LE FUTUR

Les systèmes d'auscultation automatique fournissent à l'ingénieur un outil puissant qui, lorsqu'il est utilisé correctement, peut apporter une aide considérable à notre capacité de projeter, construire et exploiter en toute sécurité des barrages de tous types. Il n'y a pas de raison de penser que le rôle des systèmes d'auscultation automatique dans la technique des barrages sera moins important dans le futur qu'aujourd'hui, au contraire. Quelques-unes des raisons permettant d'avancer ce point de vue sont indiquées ci-après.

Tout d'abord, à l'échelle mondiale, il y a encore un très grand nombre de barrages à construire. Il n'y a pas de raison de penser que l'utilisation, actuellement presque universelle, d'appareils de mesure pour le contrôle de la construction des barrages et pour l'auscultation à long terme de ces ouvrages sera moins importante pour ces barrages à construire.

De nouvelles conceptions et de nouvelles techniques de construction seront appliquées incontestablement à ces nouveaux barrages. Même si nos outils mathématiques et nos méthodes de conception s'améliorent dans le futur, il faudra toujours, lors des études de vérification de projet, comparer les résultats des études analytiques avec les résultats des mesures du comportement du barrage. Dans le passé, cette procédure a beaucoup contribué aux progrès réalisés dans la technique des barrages, et il n'y a pas de raison de penser que la situation change dans le futur. Le besoin d'obtenir des données de comportement ne diminuera donc pas corrélativement avec une augmentation des capacités analytiques.

La nécessité de systèmes d'auscultation automatique dans le futur n'est en aucune façon limitée aux barrages nouveaux. Le vieillissement des barrages existants – environ 36 000 dans le monde – est un problème universel qui, avec le temps, concernera de plus en plus de barrages. Les appareils d'auscultation seront nécessaires pour contrôler la sécurité des barrages anciens, et identifier, localiser et étudier les problèmes qui se posent. De plus, les appareils d'auscultation seront utiles pour évaluer l'efficacité des mesures appliquées en vue de corriger les problèmes concernant des barrages anciens. Compte tenu des préoccupations de plus en plus fortes de la société au sujet de la sécurité d'ouvrages de tous types, il est logique de s'attendre à ce que les organismes de contrôle requièrent dans le futur davantage d'auscultation automatique de barrages qu'aujourd'hui.

Dans la plupart des cas, le type de matériel à utiliser pour l'auscultation des barrages sera choisi en se basant sur les coûts de fourniture, d'exploitation et d'entretien du système. Les besoins, le développement et le perfectionnement des systèmes d'auscultation automatique se concentreront principalement dans les pays où le coût des lectures des appareils de mesure et du traitement manuel des données est beaucoup plus important à la longue que le montant des investissements relatifs à la fourniture et à l'exploitation des systèmes d'auscultation automatique.

12. TRENDS IN FUTURE AUTOMATIC MONITORING SYSTEMS

12.1. THE IMPORTANCE OF AUTOMATIC MONITORING SYSTEMS IN THE FUTURE

Automatic monitoring systems provide the engineer with a powerful tool that, when used properly, can contribute immensely to our ability to design, construct and safely operate dams of all kinds. There is no reason to believe that the role of automatic monitoring systems in dam engineering will be less important in the future than it is today, on the contrary. Some of the more obvious reasons for this are pointed out below.

First of all, on a worldwide basis there are an enormous number of dams yet to be built. There is no reason to expect that the present day, almost universal, use of instrumentation for controlling dam construction and for monitoring the long-term behavior of dams will be less important for these new dams to be built.

New dams will unquestionably entail new designs and new construction techniques. Even though our mathematical tools and design methods will improve in the future, there will always be a need for design verification studies to check the results of analytical studies against measured performance data. In the past, this procedure has contributed significantly to the advancements that have been made in the state-of-the-art of dam engineering, and there is no reason to believe that the situation will change drastically in the future. Thus, the need for performance data will not diminish parallel with an increase in analytical capabilities.

The need for automatic monitoring systems in the future is by no means limited to new dams. Ageing of existing dams, some 36 000 worldwide, is a universal problem that will only increase in magnitude with time. Instrumentation will be needed to document the safety of old dams and to identify, localize and study problems that arise with them. Likewise, instrumentation will be helpful in evaluating the effectiveness of remedial actions carried out to correct problems that arise with old dams. With society's growing concern about the safety of structures of all kinds, it is logical to expect that regulatory agencies will require in the future more automatic monitoring of dams than is the case today.

In most cases, the type of instrumentation to be used for monitoring dams will be selected on the basis of the cost of providing, operating and maintaining the system. The need for, and the development and refinement of automatic monitoring systems will be centered primarily in countries with high labor costs where the cost of taking instrument readings and processing data manually is far more in the long run than the investments needed to provide and operate automatic monitoring systems.

Enfin, autre point très important : une nouvelle génération d'ingénieurs de barrages entre dans le domaine de l'auscultation de barrages. Ces jeunes – hommes et femmes – ont littéralement grandi avec les ordinateurs dans un monde qui est devenu de plus en plus « numérique ». Les ordinateurs et l'automatisation sont des outils à leur disposition et cela influera sur leurs travaux. Cette nouvelle génération d'ingénieurs portera, sans aucun doute, l'auscultation automatique des barrages à un niveau plus élevé d'activité (et de perfection) comparativement à la situation présente.

12.2. TENDANCES FUTURES DANS LES MÉTHODES ET LE MATÉRIEL D'AUSCULTATION

Dans un système d'auscultation automatique, le matériel et les méthodologies relevant des domaines de la métrologie et de l'informatique sont associés pour former une chaîne de mesure, dont la fonction est de quantifier et de transformer, de façon automatique, les informations physiques pour en faire une présentation facilitant leur analyse et leur interprétation. Les deux technologies citées, métrologie et informatique, sont actuellement très dynamiques, des changements intervenant à un rythme très rapide, et il n'y a aucun signe de ralentissement de cette tendance dans un avenir immédiat.



Fig. 13

La chaîne de mesure

On peut donc s'attendre à des changements importants, dans le futur, concernant la conception, le fonctionnement et l'utilisation des systèmes d'auscultation automatique des barrages. Des améliorations dans la chaîne de mesure peuvent être apportées sur tout maillon de la chaîne. Certaines possibilités sont indiquées ci-dessous.

12.3. CAPTEURS ET SYSTÈMES DE CAPTEURS

Les capteurs sont les « yeux d'observation » d'un système d'auscultation et, de bien des façons, la partie essentielle. Leur rôle dans la chaîne de mesure est de transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur, généralement un signal électrique, plus facile à mesurer. Le choix des capteurs pour l'auscultation de barrage a revêtu traditionnellement un caractère très conservatif et les évolutions ont été lentes. Plusieurs raisons expliquent ce conservatisme. Tout d'abord, les appareils disponibles sur le marché, dont l'utilisation est tout à fait satisfaisante dans d'autres domaines techniques, sont mal adaptés aux conditions environnementales rencontrées sur un site de barrage, ou aux opérations à long terme qui sont une caractéristique des programmes d'auscultation des barrages. Une autre raison est que, généralement, les capteurs adoptés dans le passé pour l'auscultation de

One final point and a very significant one : A new generation of dam engineers is entering the scene of dam monitoring. These young men and women have literally grown up with computers in a world that has become increasingly digital. Computers and automation are a way of life to them and this will be reflected in what they do and how they do it. This new generation will undoubtedly bring automatic dam monitoring to a higher level of activity (and perfection) than it is today.

12.2. FUTURE TRENDS IN MONITORING METHODS AND EQUIPMENT

In an automatic monitoring system, equipment and methodologies from the fields of measurement technology and computer technology are linked together to form a measurement chain whose function is to automatically quantify and convert physical information into an orderly form that can be readily studied and analyzed by the user. Both of these parent technologies are at present extremely dynamic with changes taking place at a very fast pace, and there are no signs that this trend will slow down in the immediate future.

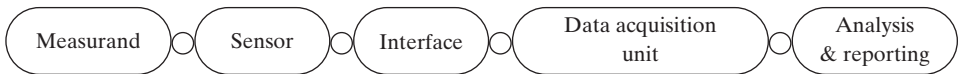


Fig. 13
The Measurement Chain

Thus, we can expect that in the future there will be significant changes in the way our automatic monitoring systems for dams are designed, how they function and how they are used. Improvements in the measuring chain can be made at any of the many links in the chain. Some of the possibilities are outlined below.

12.3. SENSORS AND SENSOR SYSTEMS

Sensors are the “ seeing eyes ” of a monitoring system and in many respects they are the most important part. The role of the sensors in the measurement chain is to convert the measurement into another quantity, usually an electrical signal that is more easily measured. The practice followed in selecting sensors for use in dam monitoring systems has traditionally been very conservative and changes have taken place slowly. There are several reasons for this conservatism. First of all, many commercially available instruments, which are quite satisfactory for use in other technical fields, are totally unsuited for the environmental conditions that are encountered at a dam site, or for the long-term operational duty, which is a characteristic of dam monitoring programs. Another reason is that in general the sensors used in the past in monitoring programs for dams have indeed worked

barrages ont fonctionné de façon satisfaisante et cela a été bien établi. On s'est donc montré peu disposé à essayer quelque chose de nouveau.

Cependant, la situation est en train de changer. De nouveaux types de capteurs, de différentes origines, sont de plus en plus nombreux. La demande d'appareils dans d'autres secteurs de l'industrie s'amplifie et de nombreux fabricants s'efforcent de mettre au point des appareils nouveaux et améliorés. Par ailleurs, les méthodes modernes de fabrication permettent d'améliorer la qualité des appareils en précision, fiabilité et durabilité, et d'obtenir des prix raisonnables, compte tenu de l'importance du marché à satisfaire. Les principaux changements auxquels on peut s'attendre dans le futur sont les suivants :

- Meilleure précision et plus grand choix d'appareils de mesure.
- Baisse des prix dans le temps.
- Capteurs plus résistants à la corrosion grâce à l'utilisation d'alliages et de métaux nobles peu utilisés auparavant, par exemple, titane pour les parties des capteurs de pression en contact avec l'eau, et les boîtiers des appareils.
- Capteurs « intelligents » de plus en plus utilisés, avec accroissement constant du niveau d'intelligence. Cette tendance se poursuivra certainement dans le futur.

Les principaux avantages des capteurs intelligents sont les suivants :

- Auto-contrôle intégré et signalisation automatique des dysfonctionnements.
- Compensation automatique des non-linéarités, de l'hystérésis et des erreurs de mesures résultant de dérive thermique, etc.
- Traitement intégré du signal avec conversion en unités techniques et, éventuellement, mémoire interne pour stockage de données de sauvegarde pouvant être récupérées en cas de rupture de câble ou de liaison de communication avec le système central d'acquisition de données.
- Possibilité de mise en réseau permettant de connecter un certain nombre de capteurs à un même câble et de réduire ainsi la quantité de câble à installer. Cela est un point important pour de nombreux systèmes d'auscultation de barrage où de longs circuits de câble augmentent, de façon significative, le coût de l'installation.

Les capteurs intelligents présentent quelques inconvénients qui ne sont nullement insignifiants :

- Il n'y a pas de normalisation du protocole de communication. Chaque fabricant a son propre système. Cela rend difficile l'utilisation, dans le même réseau, d'appareils provenant de divers fournisseurs. C'est réalisable, mais cela entraîne une dépense considérable dans la mise au point des logiciels de pilotage requis pour chaque type d'appareil.
- Le coût de capteurs intelligents peut être beaucoup plus élevé que celui de certains appareils classiques utilisés dans des systèmes d'auscultation de barrage. On peut, cependant, s'attendre à une baisse du coût de ces capteurs au fur et à mesure que le volume de production augmentera.
- Les capteurs intelligents sont plus complexes et ont plus d'électronique intégrée que les appareils traditionnellement utilisés pour l'auscultation des

satisfactorily and this fact is well documented. Thus, there has been, understandably, a certain reluctance to try something new.

However, the situation is changing now. New types of sensors from new sources are becoming available in increasing numbers. Because of the rapidly expanding market for instruments in other industries many small and large instrument manufacturers are putting considerable effort into developing new and improved sensors and sensor systems. Furthermore, modern production methods enable manufacturers to produce better instruments from the viewpoints of accuracy, reliability and durability and at a reasonable cost because of the large volume being produced to satisfy market demands. Some key changes to expect in the future are :

- More accurate instruments and a larger selection to choose from.
- Lower costs.
- Improved corrosion resistance of sensors due to increased use of noble alloys and materials not commonly used today, for example the use of titanium for wetted parts in pressure sensors and instrument enclosures.
- Intelligent instruments or “ smart sensors ” are becoming more and more common in the process industry and their level of intelligence is constantly being elevated. This is a trend that will certainly continue in the future.

Some important advantages of smart sensors are :

- Built-in capability for self-checking and automatic warning of malfunctions.
- Automatic compensation for nonlinearity and hysteresis errors in the instrument or errors in measurement due to temperature drift, etc.
- Built-in signal processing with scaling to engineering units and possibly internal memory for storage of back-up data which can be recovered in event of a failure of the cable or communication link to the central data acquisition system.
- A networking capability which enables a number of instruments to be connected to the same instrument cable, thus reducing the amount of cable that has to be installed. This can be an important feature for many dam monitoring systems where long cable runs add significantly to the cost of instrumentation.

The disadvantages of smart sensors are by no means insignificant :

- There is no standardization of the communication protocol. Each manufacturer has his own system. This makes it difficult to use instruments from different suppliers in the same network. It can be done, but it entails considerable expense in developing the required software drivers for each type of instrument used.
- The cost of intelligent sensors may be considerably more than for some of the traditional instruments used in dam monitoring systems. It is to be expected, however, that the cost of these instruments will drop in the future as the production volume increases.
- Being intelligent, smart sensors are more complex and have more built-in electronics compared to instruments traditionally used for monitoring dams.

barrages. On pourrait penser que le risque de défaillance d'un appareil est, d'une certaine façon, lié à la complexité de l'appareil et, en particulier, au nombre de composants qu'il contient. Actuellement, on ne dispose pas de suffisamment de données de comportement à long terme pour comparer la fiabilité des capteurs intelligents à celle des appareils traditionnels, et il faudra quelque temps pour recueillir suffisamment de données permettant une telle comparaison. En attendant, on sera prudent vis-à-vis de l'installation de capteurs intelligents dans des endroits inaccessibles pour leur exploitation ou leur remplacement après leur mise en place, situation couramment rencontrée sur les sites de barrages.

12.3.1. Nouveaux capteurs et systèmes de capteurs

De rapides progrès dans d'autres domaines du matériel de mesure permettront la mise sur le marché de capteurs et d'autres techniques de mesure pouvant être utilisés avantageusement sur les barrages. Quelques possibilités sont les suivantes :

- Utilisation accrue d'appareils optiques, par exemple, appareils topographiques pilotés par ordinateur pour la mesure de mouvements en surface.
- Dispositifs à laser pour la mesure précise de déplacements et de déformations.
- Photographie numérique et techniques de traitement de l'image pour la mesure de déplacements et de déformations.
- Méthode GPS (triangulation par satellites), à résolution renforcée, pour le suivi de déplacements.
- Utilisation accrue de capteurs à fibres optiques pour la mesure de pressions, de déformations unitaires, de températures et de déplacements, incluant les systèmes à mesures réparties (mesures effectuées en plusieurs points le long d'une fibre).

12.4. CÂBLAGE

Les câbles sont les liaisons essentielles par lesquelles transitent l'énergie et les signaux d'un maillon à l'autre de la chaîne de mesure. C'est le système nerveux de la chaîne.

Les câbles peuvent poser de sérieux problèmes. Ils sont généralement longs et situés dans un milieu très agressif. Ils sont très vulnérables pendant les travaux et ils risquent d'être mis hors service par infiltration d'eau au cours des années. Les câbles de grande longueur fonctionnent, malheureusement, comme des antennes et constituent une source d'interférences électromagnétiques et de bruits parasites. Un problème plus sérieux est que, pendant des orages, les câbles de grande longueur peuvent être le siège de surtensions transitoires très importantes qui détériorent les éléments du système reliés aux câbles.

Le coût des câbles, de leur installation et des travaux de finition représente une forte proportion du prix total du système d'auscultation automatique d'un barrage,

One would expect that the chance of an instrument failure is in some way related to the complexity of the instrument and in particular on the number of components it contains. At present, we do not have sufficient long-term performance data to compare the reliability of smart sensors with traditional instruments, and it will be some time before users have accumulated enough information to do this properly. Until then, one should be cautious of using intelligent instruments in applications where the instruments are not accessible for service or replacement after they have been installed, a situation commonly encountered on dam monitoring projects.

12.3.1. New Sensors and Sensor Systems

Rapid developments in other fields of instrumentation will undoubtedly put on the market sensors and alternate measurement techniques that can be used advantageously on dams. Some possibilities are:

- Increased use of optical instruments, for example computer controlled surveying instruments for geodetic measurements of surface movements.
- Laser position measurement systems for precision displacement and deformation measurements.
- Digital photographic techniques combined with image processing for displacement and deformation measurements.
- More accurate GPS (Global Positioning System) equipment and methods for monitoring displacements.
- Increased use of optical fiber sensors for monitoring pressure, strain, temperature and displacement, including distributed systems wherein measurements can be made at many points along a single fiber.

12.4. CABLING

Cables are the vital connections over which power and signals are transmitted from link to link in the measurement chain. They are in effect the nervous system of the chain.

Cables can be a major source of problems on dam monitoring projects. They are generally long and located in a very harsh environment. They are extremely vulnerable to damage during construction or they may become unserviceable with time because of ingress of water during their operational lifetime. Long cables also function, unfortunately, as antennas and become a source of EMI and noise. A more serious problem associated with long cables is that during electrical storms high voltages may be momentarily induced in the cables, voltages that can cause serious damage to the system components attached to the cables.

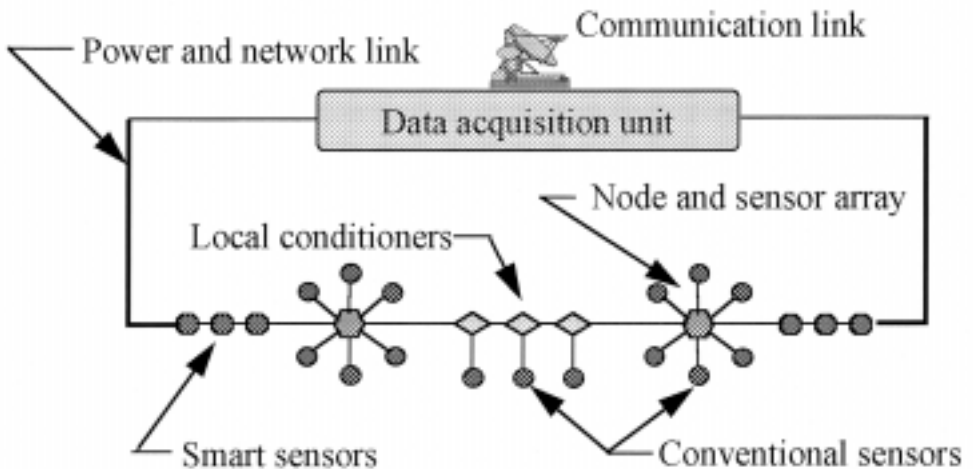
The cost of cables and cable installation and termination work accounts for a large part of the cost of automated monitoring systems for dams because of long

en raison des grandes longueurs de câbles et du raccordement d'un grand nombre d'appareils à un système central d'acquisition de données.

Des améliorations dans les méthodes de câblage utilisées sur les futurs systèmes d'auscultation automatique des barrages sont nécessaires pour deux raisons principales :

- 1) Une diminution de la longueur des câbles réduira le coût total du dispositif d'auscultation ainsi que le temps nécessaire aux travaux d'installation et de connexion.
- 2) L'élimination de problèmes associés aux câbles augmentera la fiabilité globale des systèmes d'auscultation.

Une réduction du câblage peut être obtenue de trois façons. Les appareils de mesure peuvent être interconnectés sous forme de réseau, avec un câble commun pour la transmission de l'énergie et des signaux. La seconde approche consiste à avoir un système réparti d'acquisition de données, chaque groupe de capteurs étant relié localement à un nœud intelligent, lui-même relié par câble au système central d'acquisition de données. Les deux concepts sont illustrés sur la Fig. 14. Dans la troisième approche, les câbles sont éliminés en utilisant la télétransmission radio des données depuis les capteurs ou les nœuds jusqu'au système central d'acquisition de données.



Il est relativement facile d'établir un réseau comprenant des capteurs intelligents, comme indiqué ci-dessus. Cela est également possible avec des capteurs classiques, mais les signaux de sortie doivent être digitalisés. À cet effet, des convertisseurs sont déjà disponibles sur le marché et l'effort de développement se poursuit. Étant donné la grande demande de ces convertisseurs dans l'industrie, on peut penser que leur prix unitaire baissera et qu'il y aura un grand choix de modèles. La configuration en réseau permet des économies, et elle est appelée à se répandre de plus en plus dans les systèmes d'auscultation des barrages. En outre, un réseau peut être conçu comme une boucle qui n'est pas perturbée en cas de coupure du câble en un point, ce qui constitue un grand avantage du point de vue de la fiabilité du système.

cable runs and the need to connect large numbers of instruments to a central data acquisition system.

Improvements in cabling methods used on future automated monitoring systems for dams are needed for two main reasons :

- 1) A reduction in the amount of cable used will reduce the total cost of instrumentation and reduce the time required for installation and hook-up work, and
- 2) Elimination of problems associated with cables will increase the overall reliability of monitoring systems.

A reduction in the amount of cabling can be achieved in three principal ways. Instruments can be connected together in network fashion with a common cable for transmission of power and signals. The second approach is to have a distributed data acquisition system in which groups of sensors are connected locally to intelligent nodes which in turn are connected to the central data acquisition system by cable. Both concepts are illustrated in Fig. 14. The third approach is to eliminate cables by using radio telemetry to transmit data from remote sensors or nodes to the central data acquisition system.

Fig. 14

Networking Concepts Using Conventional Sensors and Smart Sensors

Principes d'un réseau comprenant des capteurs classiques et des capteurs intelligents

Smart sensors	<i>Capteurs intelligents</i>
Conventional sensors	<i>Capteurs classiques</i>
Local conditioners	<i>Conditionneurs locaux</i>
Node and sensor array	<i>Nœud et groupe de capteurs</i>
Data acquisition unit	<i>Unité d'acquisition de données</i>
Power and network link	<i>Liaison pour alimentation en énergie et transmission des données</i>
Communication link	<i>Liaison de communication</i>

Networking can be relatively simple using smart sensors as mentioned above. Networking is also possible using conventional “ dumb ” sensors but the output signals must be converted first to digital signals. Converters that do this are already available on the market and a lot of new development work is going on in this field. Because of the general large demand for these converters in industry, it is expected that in the future the unit cost will fall to an acceptable value. Furthermore, there will be many types of converters to select from. The economy afforded by networking will undoubtedly make it common place in future dam monitoring systems. One further advantage of this concept is that a network can be designed as a loop that will function properly even if the cable is cut at one location, an important feature with regard to system reliability.

Comme mentionné ci-dessus, un système réparti d'acquisition de données permet des gains sur la longueur de câble. Dans un tel système, plusieurs petites unités locales d'acquisition de données sont reliées à une unité centrale d'acquisition de données. Ces unités locales sont des nœuds intelligents d'acquisition de données, implantés dans des endroits stratégiques et reliés aux capteurs proches. Dans ces nœuds sont placés les boîtiers électroniques de conditionnement et d'interfaçage nécessaires au traitement des signaux de sortie des capteurs. Suivant un programme préétabli, les capteurs font des mesures et transmettent les données en série à l'unité centrale. Le nombre optimal d'unités réparties d'acquisition est facilement déterminé à partir du coût de l'unité d'acquisition et du coût du câble économisé. L'impact économique est parfois considérable et on peut penser que ces systèmes répartis d'acquisition de données sont appelés à se répandre dans le futur.

De même, l'utilisation des fibres optiques se développe. Pour l'auscultation des barrages, leur avantage principal est leur invulnérabilité aux interférences électromagnétique et aux surtensions générées par les orages. Les fibres optiques sont déjà utilisées pour la transmission de signaux de capteurs. Plusieurs fournisseurs offrent déjà des fibres optiques robustes pouvant être enterrées, des modems et des dispositifs spéciaux de connexion.

Pour la transmission de données numériques, les câbles électriques classiques peuvent être facilement remplacés par des câbles à fibres optiques. En effet, le matériel existe déjà. Il existe également des convertisseurs et des modems pour la conversion et la transmission, par des câbles à fibres optiques, des signaux de sortie de capteurs de différents types. Cependant, dans l'état actuel de la technologie, le remplacement total des câbles traditionnels par des câbles à fibres optiques n'est pas faisable, car la plupart des capteurs nécessitent une alimentation électrique. Actuellement, la transmission d'énergie par câble à fibres optiques est trop chère, trop compliquée ou trop limitée. Mais les recherches continuent et de nouvelles méthodes et technologies vont devenir disponibles. Il sera peut-être possible un jour, dans les systèmes d'auscultation des barrages, d'utiliser uniquement des câbles à fibres optiques.

12.5. TECHNIQUES D'INTERFAÇAGE

Généralement, les signaux de sortie des capteurs utilisés pour l'auscultation des barrages sont de divers types, par exemple : signaux de 4-20 mA ou signaux de tension élevée pour les capteurs industriels courants; tension faible pour les extensomètres, par exemple; signaux de fréquence pulsatoire ou continue pour les capteurs à corde vibrante; signaux numériques dans certains cas. La nécessité d'interfacer les divers types de signaux avec le dispositif d'acquisition de données a toujours été un problème qui rend les systèmes d'auscultation plus complexes et coûteux.

La tendance actuelle est à la standardisation des signaux, le type 4-20 mA et le type numérique étant de plus en plus préférés par les fabricants d'appareils. De

As mentioned above a distributed data acquisition system can be used to reduce the amount of cabling. A distributed data acquisition system is one in which a number of small local data acquisition units communicate over a communication link with a central data acquisition unit. These local acquisition units are in effect intelligent data acquisition nodes that are placed at strategic locations and connected to all the sensors in the vicinity of it. The nodes contain the required signal conditioning and interfacing electronics for the sensors connected to it, and they are programmed to take measurements according to a set schedule and transmit the data in serial form to the central unit. The optimum number of remote acquisition units is easily determined from the respective cost of the acquisition unit and the cost of the cable it eliminates. The economical impact can be considerable so we can expect to see more distributed data acquisition systems in the future.

Another trend that will become more common in future monitoring system is an increased use of fiber optic cables. The principal advantage with respect to dam monitoring is their immunity to electromagnetic interference and elimination of damage caused by induced voltages during electrical storms. It is already common practice in many instrumentation applications to use optical fibers for transmission of signals. Robust optical cables suitable for burial in the ground, modems and special connectors needed to install and use fiber optical transmission systems are already available off-the-shelf from many suppliers.

It is a simple matter to replace conventional electrical cables with fiber optic cables for transmission of data in digital form. The equipment needed to do this is already available. Likewise there are modems and converters available that can be used to convert and transmit the output signals from many types of sensors over fiber optic cables. However, with today's technology it is not feasible to replace conventional sensor cables entirely with optical cables. The reason for this is that most sensors require some form of electrical power to operate them. This can not be done on a practical basis today because the technology presently available for transmitting power over a fiber optic cable is either too expensive, too complicated or too limited. Fortunately though, there is a lot of research and development work going on in this area and new methods and technology are becoming available. Some day in the future it may be possible to base dam monitoring systems entirely on optical fiber cables.

12.5. INTERFACING TECHNIQUES

Typical dam monitoring systems to date will generally include sensors with different types of output signals, for example : 4 -20 mA current signals or high-level voltage signals from standard industrial instruments, low-level analogue voltages from strain gauges for example, pulsed frequency or continuous frequency signals from vibrating wire sensors, and in some cases digital signals. The need to interface the different signal types to data acquisition equipment has always been a problem that has added to the cost and complexity of monitoring systems.

The present trend is toward more and more standardization of signal types, with the industrial standard 4 - 20 mA and digital signals becoming increasingly

même, il y a une tendance à la standardisation de l'interconnexion des différents éléments du système d'acquisition de données. Par exemple, l'utilisation du bus VME (Versa Module Eurocard) permet de fabriquer des cartes de circuit imprimé équipées d'unités électroniques d'interfaçage et de circuits de conditionnement des signaux, qui sont compatibles et peuvent être enfichées dans les fentes prévues dans l'unité d'acquisition de données. Dans ces conditions, la conception des futurs systèmes d'auscultation sera améliorée, leur entretien simplifié et leur complexité réduite.

12.6. SYSTÈMES D'ACQUISITION DE DONNÉES

Les progrès rapides dans le secteur de l'informatique font que la partie de la chaîne de mesure consacrée à l'acquisition des données connaît une évolution très dynamique. L'avantage principal de cette tendance est la plus grande puissance de calcul obtenue à un prix généralement plus faible. Les systèmes d'acquisition de données peuvent remplir des fonctions autres que la simple collecte des données venant des capteurs et le stockage de celles-ci. Les possibilités sont limitées seulement par l'imagination du concepteur du système. La gestion efficace d'une grande quantité de données généralement fournies par le programme d'auscultation d'un barrage ne doit pas être un problème dans le futur.

Parmi les développements récents ayant un impact bénéfique dans le domaine de l'auscultation automatique des barrages, on peut citer :

- Grâce à l'introduction d'ordinateurs performants destinés à fonctionner dans un milieu industriel dur, le matériel sera plus adapté à l'auscultation des barrages.
- Les ordinateurs à faible consommation d'énergie simplifient le problème d'alimentation des dispositifs d'acquisition de données éloignés, isolés.
- Outre des fonctions d'acquisition et de stockage des données, les ordinateurs dans les futurs systèmes pourront remplir plusieurs autres tâches simultanément : calculs en ligne, gestion des bases de données, édition automatique de rapports, communication avec les utilisateurs situés en d'autres endroits géographiques.

Cependant, les progrès rapides dans la technologie des ordinateurs présentent quelques aspects négatifs ; par exemple :

- Obsolescence : le matériel risque d'être dépassé avant qu'il soit mis en service.
- Incompatibilité avec le matériel ancien. Pour la mise à niveau d'un système d'acquisition de données, il ne s'agit pas simplement de remplacer l'ordinateur par un modèle plus récent. Par exemple, des changements dans les systèmes d'exploitation peuvent nécessiter de développer un logiciel entièrement nouveau afin d'accomplir des mêmes tâches. Cette situation a déjà été rencontrée plusieurs fois au cours de ces dernières années.
- Le risque de se laisser induire en erreur par des données erronées dans les rapports édités automatiquement, ou par de belles présentations graphiques,

more popular among instrument manufacturers. Likewise, the present trend is also toward standardization of the way the various components of a data acquisition system are interconnected, for example: the use of the VME bus enables manufacturers to provide printed circuit boards with interface electronics and signal conditioning circuits that are compatible and can be plugged into the same slots in the rack of a data acquisition unit. This is also a trend that will continue in the future, a trend that will enhance design, simplify maintenance and reduce complexity of future monitoring systems.

12.6. DATA ACQUISITION SYSTEMS

Rapid developments in the computer industry make the data acquisition part of the measurement chain the most dynamic part. The main benefit of this trend is that more and more computational power is obtained at generally lower cost. Data acquisition systems can do much more than just collect instrument readings and store data. The possibilities are only limited by the imagination of the system designer. Handling large amounts of data in an efficient manner, a past problem encountered on many dam monitoring projects, need not be a problem in the future.

Some of the developments that will prove to be advantageous for future monitoring systems are :

- The expanding market for hardened computers suitable for use in harsh industrial applications will make available equipment much more suited for dams monitoring projects than is the case today.
- Low power computers will simplify the problem of supplying power for remote stand-alone data acquisition systems.
- In addition to data acquisition and storage, the computers in future systems will be able to handle a number of important tasks at the same time, a few examples are: on-line analysis tasks, data base management, automatic report generation and communication with users at other geographical locations.

The rapid developments in computer technology do have some draw backs, for example :

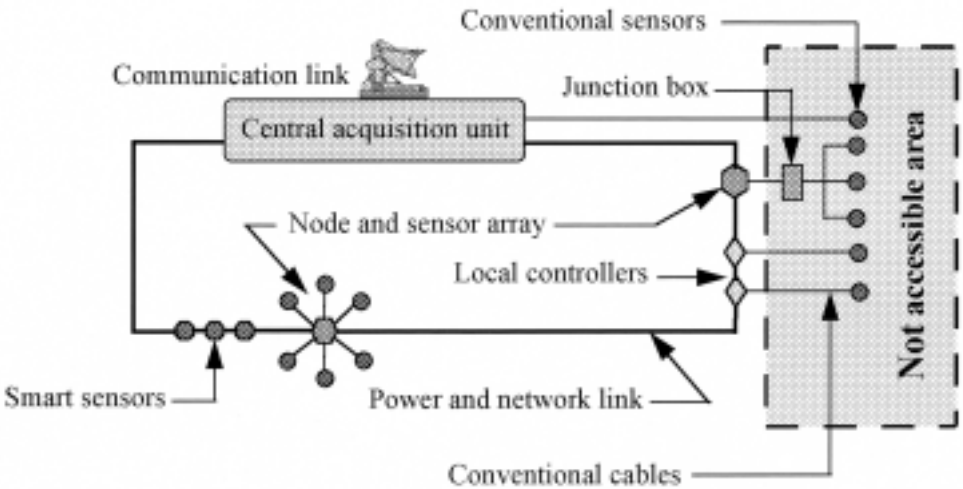
- Obsolescence. Equipment is often outdated almost before it is put into use.
- Incompatibility of new equipment with older systems. Upgrading of a data acquisition systems are not always as simple as replacing the computer with a new model. Changes in operating systems, for example, may require that entirely new software be developed to perform the same tasks. This situation has already been encountered several times in recent years.
- Last, but not least, the risk of being fooled by erroneous data in automatically generated reports and fancy eye-catching computer displays

augmente avec le niveau d'automatisation. Il est essentiel de veiller à la vérification de la qualité des données, un point primordial souvent oublié.

12.6.1. Systèmes répartis ou centralisés d'acquisition de données

Dans un système d'auscultation non conçu comme un système réparti, chaque capteur est relié par un câble à l'unité centrale d'acquisition de données. Si le système d'acquisition est composé de plusieurs nœuds d'acquisition, la complexité et le coût de l'ensemble du câblage peuvent être réduits. Par contre, un système réparti d'acquisition de données peut coûter plus cher et être plus complexe qu'un système centralisé d'acquisition. Le choix entre un système réparti et un système centralisé est fixé après étude de la complexité du câblage et du coût des câbles pour différentes solutions de cheminement.

Il est également jugé nécessaire que l'ensemble d'un système réparti d'acquisition soit facilement accessible pour inspection, contrôle, réparation ou remplacement. À cet effet, les systèmes d'auscultation de barrages tendront à avoir la configuration représentée sur la Fig. 15.



12.7. SOURCES D'ALIMENTATION EN ÉNERGIE

Le fonctionnement des capteurs, du matériel d'acquisition de données et des liaisons de communication nécessite de l'énergie électrique. Les dispositifs d'auscultation sont souvent situés dans des zones éloignées où des lignes électriques ou des sources d'énergie classiques ne sont pas disponibles, ce qui nécessite d'autres sources d'énergie électrique. La fourniture d'énergie suffisante pour le fonctionnement des appareils peut être un facteur de complication qui augmente considérablement le coût du système d'auscultation et le coût d'entretien pour maintenir le système en fonctionnement.

increases with the level of automation in a data acquisition system. The need for reliable data quality verification becomes paramount, a need that is often overlooked.

12.6.1. Distributed versus Centralized Data Acquisition Systems

In a monitoring system not designed as a distributed system all sensor cables must cover the distance between a centralized data acquisition computer and the sensor. If the actual acquisition computer is physically distributed geographically as a number of acquisition nodes the overall cable installation complexity and costs may be reduced. On the other hand a distributed data acquisition computer will have a higher cost and complexity compared to a centralized data acquisition computer. The decision whether to use a distributed or centralized data acquisition computer for a specific project should be made after an analysis of cable complexity and costs for different cable routing alternatives.

It is also in general deemed necessary that all distributed computer systems should be readily accessible for field inspection, testing, repair and replacement. To comply with this latter requirement the trend in the future will be to configure dam monitoring systems as shown in Fig. 15.

Fig. 15

An Example of a Dam Monitoring System which Combines Networking Principles
with Conventional Wiring Practice
*Exemple d'un dispositif d'auscultation de barrage, combinant les principes
d'un réseau avec un câblage classique*

Conventional sensors	<i>Capteurs classiques</i>
Junction box	<i>Boîte de raccordement</i>
Conventional cables	<i>Câbles classiques</i>
Not accessible area	<i>Zone inaccessible</i>
Smart sensors	<i>Capteurs intelligents</i>
Node and sensor array	<i>Nœud et groupe de capteurs</i>
Local controllers	<i>Contrôleurs locaux</i>
Power and network link	<i>Liaison pour alimentation en énergie et transmission des données</i>
Central acquisition unit	<i>Unité centrale d'acquisition</i>
Communication link	<i>Liaison de communication</i>

12.7. POWER SOURCES

Sensors, data acquisition equipment and communication links require electrical power to operate. Monitoring systems are often located in remote areas where power lines or conventional power sources are not available, thus alternate sources of electrical energy are required. Providing sufficient power to operate the equipment can be a complicating factor that adds considerably to the cost of the monitoring system and contributes significantly to the amount of maintenance needed to keep the systems operative.

Les améliorations en cours concernant la fiabilité et la capacité des batteries d'accumulateurs, des panneaux solaires et des éoliennes rendront plus facile et plus économique la fourniture d'énergie à des installations éloignées. Cependant, les progrès les plus importants sont ceux qui permettront de réduire la consommation d'énergie. Tout d'abord, il faudra moins d'énergie car les nouvelles technologies peuvent réduire la quantité d'énergie nécessaire au fonctionnement des capteurs et du matériel d'acquisition de données. Ensuite, il sera plus courant d'avoir des systèmes qui entrent en sommeil, avec conservation d'énergie, lorsqu'ils n'accomplissent pas des tâches d'auscultation ou de traitement des données.

12.8. LIAISONS DE COMMUNICATION

La possibilité de communiquer directement avec l'utilisateur final est peut-être l'un des plus grands atouts du système d'acquisition automatique de données. Les futurs systèmes d'auscultation mettront littéralement l'utilisateur en ligne sur le site. Le délai entre mesure et analyse peut devenir instantané, si nécessaire. Ce domaine est également très dynamique et connaît de nombreuses améliorations. Par exemple, la vitesse de transmission de données numériques sur une ligne téléphonique était, il y a quelques années, de l'ordre de 300 bauds; aujourd'hui, elle est souvent d'au moins 28 000 bauds et cette évolution va sans doute se poursuivre. Aussi peut-on s'attendre à une amélioration continue de la capacité de communication des systèmes d'acquisition des données.

Pour les installations éloignées non accessibles par lignes téléphoniques, une communication fiable des données est possible par satellite. Ce moyen de communication à faible prix est bien adapté à la transmission du faible volume de données provenant régulièrement d'un dispositif d'auscultation d'un barrage. De même, le téléphone cellulaire, qui couvrira bientôt un grand espace, est un moyen simple et économique de communication avec un système d'acquisition de données en site éloigné.

Enfin, il y a Internet pouvant être utilisé pour le transfert de données presque partout. Le Net constituera également un forum où les spécialistes en appareils de mesure pourront échanger des informations. Internet peut jouer un rôle-clé dans les futurs systèmes d'auscultation des barrages.

12.9. RÉSEAU INFORMATIQUE

Un réseau informatique comprend deux ou plusieurs ordinateurs pouvant communiquer entre eux, par exemple par câble coaxial, modem et ligne téléphonique, ou par radio. Le principal avantage d'un tel réseau est de permettre un partage commode des informations entre utilisateurs à divers endroits.

Le système informatique d'acquisition de données permet d'établir un réseau qui relie l'ordinateur d'acquisition de données implanté sur le site du barrage à d'autres ordinateurs implantés ailleurs. Les données provenant de différents

On-going improvements in the reliability and capacity of batteries, solar panels and wind generators will make it easier and more economical to power remote installations in the future. The most important developments, however, are those that will lower energy consumption. First of all, less power will be required because new technology can reduce the amount of energy required to activate and operate sensors and data acquisition equipment. Secondly, it will be more common to have systems that go into an energy conserving *sleep mode* when they are not actively performing monitoring or data processing tasks.

12.8. COMMUNICATION LINKS

The ability to communicate directly with the end user of the data is perhaps one of the most important aspects of automated data acquisition systems. Future monitoring systems will literally put the user on-line in the field. The turn around time between measurement and analysis will be instantaneous if it need be. This is also another very dynamic area where many improvements are being made. For example, the digital transmission rate for conventional telephone lines which was of the order of 300 Baud a few years ago is presently at least 28 000 Baud in many parts of the world, and this is a trend that will undoubtedly continue for some time in the future. We can expect, therefore, that there will be a continuous improvement in the communication capability of data acquisition systems in the future.

Satellite links are accessible for reliable data communication with remote installations not accessible by telephone line. Low cost satellite systems are available today that are well suited for transmission of the low volume of data generated on a day-to-day basis by a typical dam monitoring system. Likewise, cellular telephones, which will have worldwide coverage in the near future, provide a simple and cost effective means of communicating with remote data acquisition systems.

Finally, there is the Internet, which can be used to transfer data from almost any place to almost anywhere. The Net will also provide a forum where instrument specialists can communicate and exchange information. The Internet may very well become a key part of future dam monitoring systems.

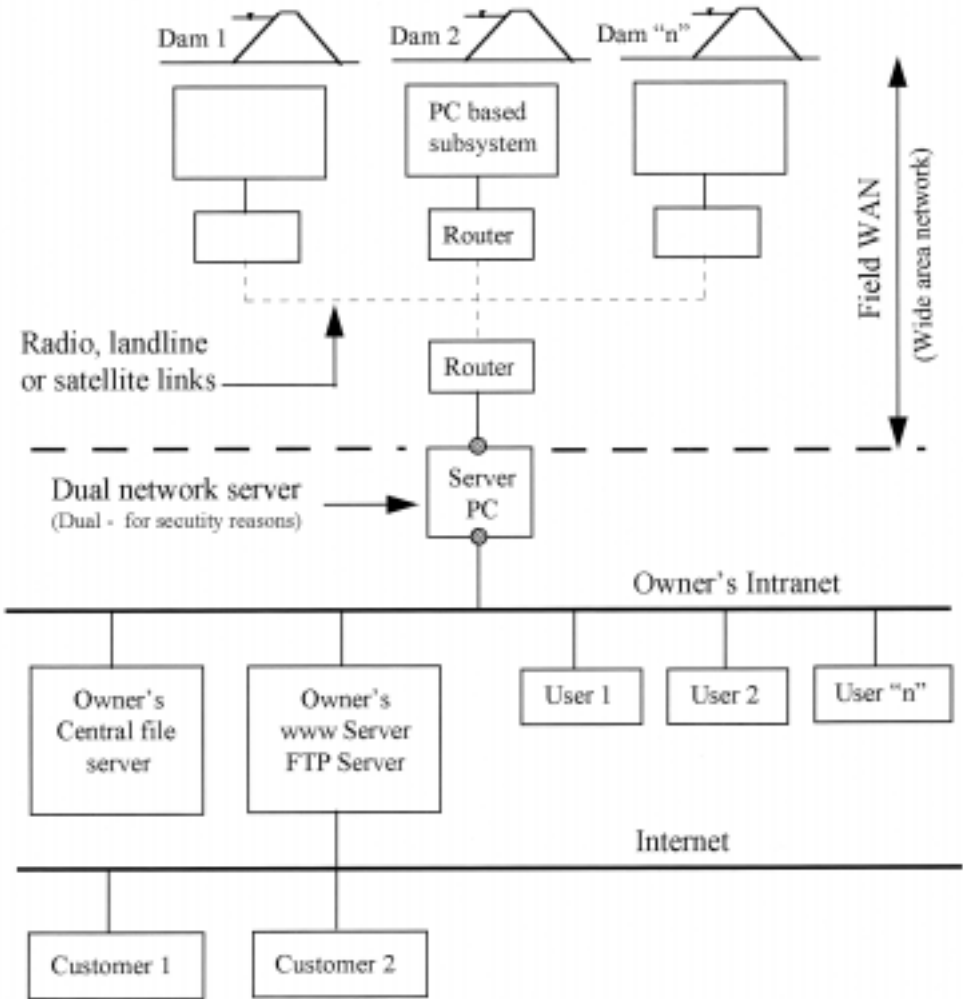
12.9. NETWORKING

A computer network consists of two or more computers that can communicate with one another over some form of communication link, for example over a coaxial cable, a modem and telephone line or by radio telemetry. The principal advantage of computer networking is that it allows information to be conveniently shared by multiple users and at different locations.

The use of computer based data acquisition systems makes it possible to establish a network between the data acquisition computer at the dam site and computers at other locations. Data from different locations in the network can be

endroits peuvent être stockées commodément dans une base de données centrale, et sont accessibles à de nombreux utilisateurs simultanément.

La Fig. 16 donne un exemple de conception d'un réseau pouvant être utilisé par un maître d'ouvrage pour l'auscultation de plusieurs barrages. Le système comprend trois réseaux distincts : réseau local étendu, Intranet et Internet; le même protocole est utilisé pour le transfert des fichiers.



Le réseau local comprend les systèmes informatiques d'acquisition de données (un sur chaque site de barrage) et leurs liaisons avec un serveur commun qui fait partie du réseau privé du maître d'ouvrage (Intranet). À partir de ce serveur, les données provenant des sites de barrages passent sur le réseau Intranet où elles sont stockées dans un serveur de fichier central; elles deviennent accessibles à tous les utilisateurs reliés à Intranet. Les données peuvent être mises à la disposition des tiers en introduisant un serveur Web dans Intranet, avec utilisation du protocole

conveniently stored in a central database and accessed by many users at the same time.

One example of how networking concepts can be used by a dam owner for monitoring a number of dams is illustrated in Fig. 16. The system comprises three different networks: a field wide area network (WAN), an Intranet and the Internet, all of which would use the same protocol for file transfer.

Fig. 16
 An Example of How Networking Concepts can be Applied
 to an Automated Dam Monitoring System
*Exemple de conception d'un réseau pouvant s'appliquer à un système
 d'auscultation automatique de barrage*

Dams 1/2/« n »	<i>Barrages 1/2/« n »</i>
PC based subsystem	<i>Sous-système PC</i>
Router	<i>Routeur</i>
Radio, landline or satellite links	<i>Liaisons par radio, câble ou satellite</i>
Field WAN (Wide area network)	<i>Réseau local étendu</i>
Dual network server (Dual-for security reasons)	<i>Serveur de réseau double (double pour des raisons de sécurité)</i>
Server PC	<i>Serveur PC</i>
Owner's Intranet	<i>Intranet du maître d'ouvrage</i>
Owner's Central file server	<i>Serveur de fichier central du maître d'ouvrage</i>
Owner's www Server FTP (File Transfer Protocol) Server	<i>Serveur www, Serveur FTP (protocole de transfert de fichier), du maître d'ouvrage</i>
Users 1/2/« n »	<i>Utilisateurs 1/2/« n »</i>
Internet	<i>Internet</i>
Customers 1/2	<i>Clients 1/2</i>

The field network consists of the computer based data acquisition systems, one at each dam site, and their respective communication links to a common server which is part of the owner's private computer network, or Intranet as it is commonly referred to. The server makes the data obtained from the dam sites available to the Intranet where it is stored in a central file server and can be accessed by all users connected to the Intranet. Data can be made available to clients outside the owner's organization by including in the Intranet a Web server with the

FTP (protocole de transfert de fichier) pour le transfert des fichiers entre ordinateurs.

12.10. TRAITEMENT ET PRÉSENTATION DES DONNÉES

Dans le passé, des programmes informatiques spécifiques étaient couramment élaborés pour le traitement et la présentation des données provenant de l'auscultation d'un barrage. Ce procédé était long et coûteux, et les programmes n'avaient pas la souplesse nécessaire à leur application à d'autres ouvrages. On devait créer un code spécifique à chaque barrage ausculté.

La situation actuelle est tout à fait différente avec la mise sur le marché d'applications informatiques adaptées aux différentes tâches de traitement et de présentation des données. Dans le futur, il y aura moins de logiciels « maison » et l'on aura recours de plus en plus à des logiciels disponibles dans le commerce. Ceux-ci ont l'avantage d'être continuellement mis à niveau par des experts et l'on peut espérer voir disparaître le problème de mise à jour des logiciels.

12.11. TECHNIQUES DE GESTION DE BASES DE DONNÉES

L'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs personnels, associée aux applications informatiques disponibles sur le marché, améliorera notre capacité de gestion de grandes quantités de données recueillies au cours des programmes d'auscultation à long terme de barrages. Dans le futur, les ingénieurs auront recours, bien plus qu'aujourd'hui, aux procédés de gestion des bases de données pour le stockage, le traitement et l'analyse des données, et pour la présentation des résultats.

La tendance future dans la gestion des barrages sera d'avoir des bases de données multimédia contenant non seulement des données sur le comportement du barrage fournies par les systèmes d'auscultation, mais aussi d'autres informations relatives au barrage, telles que des plans, des copies de rapports, des photographies et des films vidéo. Tous les programmes d'auscultation de barrages doivent viser cet objectif.

Internet FTP (File Transfer Protocol) for transferring files from one computer to another.

12.10. DATA PROCESSING AND PRESENTATION

In the past it was common practice to develop dedicated computer programs for processing and presentation of data from monitoring programs. This was a time consuming and expensive process, and the programs developed generally lacked the flexibility needed to be able to apply them to other projects. Thus, the process of writing code was repeated again and again from project to project.

The situation is quite different now due to the fact that there are commercially available computer applications that can be used for many of the processing and reporting tasks we are faced with. The trend in the future will be to have less “ home made ” software and more reliance on commercially available software. The principal advantage of this trend is that commercially available software is constantly upgraded by experts and hopefully, the problem of keeping software up to date will be a thing of the past.

12.11. DATABASE MANAGEMENT TECHNIQUES

The increased computational power of personal computers together with commercial database computer applications will improve our ability to effectively cope with the large volumes of digital data collected during long-term dam monitoring programs. In the future dam engineers will rely much more on database management procedures than they do today for data storage, data retrieval and for processing, analysis and reporting.

The future trend in dam operation and management will be to have multimedia dam management databases containing not only data from performance monitoring systems but all other information relative to the dam such as drawings, copies of reports, photographs and video films. This should be the ultimate goal for all dam surveillance programs.

13. LEÇONS TIRÉES

Les leçons suivantes ont été tirées au cours de l'évolution de l'automatisation des systèmes d'auscultation de barrage :

- L'automatisation des appareils d'auscultation de barrage ne remplace pas les inspections visuelles périodiques de l'ouvrage; l'automatisation complète cette activité importante de contrôle de la sécurité d'un barrage faisant intervenir le jugement de l'homme.
- L'informatisation améliore l'efficacité de l'acquisition de données, mais demande plus d'effort qualitatif pour l'évaluation et l'analyse de la quantité énormément augmentée de données; la gestion de bases de données devient une nécessité.
- Le nombre de personnel ne sera pas beaucoup réduit par l'automatisation; les rôles passeront des mesures à l'entretien et à l'analyse; cependant, les activités seront plus efficaces en facilitant des prises de décisions au bon moment au sujet de la sécurité du barrage.
- Les évaluations en temps réel et les prises de décisions concomitantes, lors de phénomènes touchant à la sécurité des barrages, sont nettement améliorées; des systèmes permettant de lancer des actions relatives à la sécurité, lorsqu'un groupe de critères limites est dépassé lors d'un phénomène, sont disponibles.
- Une automatisation est rarement justifiée sur une base économique seule; les questions de sécurité de barrage éclipsent généralement les aspects économiques.
- Une conception approfondie et réfléchie ne peut pas être surabondante. La participation du personnel d'exploitation dans le processus de projet peut être très bénéfique.
- L'automatisation de tous les appareils d'auscultation d'un barrage n'est généralement pas appropriée; les appareils-clés qui auscultent les zones critiques du barrage seront sélectionnés pour automatisation; des prévisions de valeurs de seuil limite et d'alarme pour les lectures d'appareils spécifiques seront établies pour l'évaluation du comportement.
- Une redondance de composants est nécessaire du fait de la probabilité de défaillances dans le milieu hostile d'un barrage.
- Une protection maximale contre la foudre et les actes de vandalisme est requise. L'utilisation de fibres optiques assure une protection contre les dégâts dus à la foudre.
- La possibilité de mesures manuelles sur tous les appareils-clés, avec un dispositif de secours, est fortement recommandée.
- Afin d'éviter une interruption dans la collecte des données par suite d'une panne d'alimentation en énergie, une source d'énergie non sujette à interruption est impérative.
- L'automatisation sera conçue en utilisant une méthode « systèmes intégrés »; le mélange et l'assortiment de composants ne conduiront pas généralement à

13. LESSONS LEARNED

The following lessons have been learned during the course of the evolutionary years of dam instrumentation automation practice :

- Automation of dam instrumentation does not replace periodic visual inspection of the structure; automation complements this important dam safety judgmental activity.
- Computerization improves data acquisition efficiency but requires more qualitative effort in evaluation and analysis of the monumentally increased volume of data generated; database management becomes a necessity.
- Numbers of personnel will not effectively be reduced by automation; roles will change from monitoring to maintenance and analysis; however, activity will be more efficient in facilitating timely dam safety decisions.
- Opportunities for real-time evaluation and decision making during dam safety events are greatly enhanced; systems are available which can initiate safety related actions once a set of threshold criteria is passed during an event.
- Automation is seldom justified on an economic basis alone; dam safety issues generally overshadow economics.
- Thorough and purposeful planning cannot be overemphasized. Inclusion of operating personnel in the design process can return large dividends.
- Automation of every dam instrument is generally not appropriate; key instruments should be selected for automation which monitor critical areas of the dam; predictions of threshold and alarm values of specific instrument reading should be established for performance evaluation.
- Component redundancy is required because of the likelihood of eventual failure in the harsh environment of a dam.
- Maximum lightning and vandalism protection is required. Use of optical fiber provides protection against lightning damage.
- The ability to monitor every key instrument manually with a backup system is strongly recommended.
- To avoid data collection interruption due to power outage, uninterruptible power supply is imperative.
- Automation should be designed utilizing an integrated “ systems ” approach; mixing and matching components generally does not provide a satisfactory

une installation satisfaisante; la souplesse du système en vue d'une extension future sera prise en considération.

- Des composants standard, facilement livrables, sont mis à disposition par des fabricants. Cela a amélioré la fiabilité et réduit le risque d'utiliser des systèmes comportant des aléas; une performance éprouvée dans une application identique est recommandée.
- L'acquisition de systèmes automatiques au moyen de soumission en deux étapes et d'appel à des sous-traitants, pour les grands marchés de travaux, sera évitée; un marché passé au moins-disant conduit généralement à un désappointement.
- Les détails d'installation et l'expérience sont aussi importants que la fiabilité des composants et seront spécifiés selon les nécessités.
- Des essais de réception à l'usine de fabrication et sur le site sont obligatoires.
- Une formation et un entraînement du personnel permanent d'exploitation sont obligatoires.
- L'entretien du système d'acquisition automatique de données doit comprendre un inventaire des pièces de rechange interchangeables, une possibilité de diagnostics du fabricant à distance et un programme d'entretien périodique sur le site; des défaillances de composants seront envisagées et un contrat d'entretien approprié établi pour gérer ces situations. L'entretien, la réparation et le remplacement éventuel des appareils de mesure proprement dits sortent du cadre du présent Bulletin.

installation; flexibility for future expansion of the system should be considered.

- Off-the-shelf, standard components are being introduced by manufacturers. This has improved reliability and reduced reliance on risky customized systems; proven performance in a similar application is recommended.
- Procurement of automation systems by two-stage bidding and subcontracting on larger construction contracts should be avoided; lowest price procurements generally lead to disappointment.
- Installation details and experience are as important as component reliability and should be specified as required.
- Acceptance testing in the factory and at the site is mandatory.
- Training of permanent operating personnel is mandatory.
- Maintenance of the ADAS should include an interchangeable spare parts inventory, ability for remote manufacturer diagnostics, and programmed periodic on-site maintenance; component failure should be expected and an appropriate maintenance agreement implemented to handle these occurrences. Maintenance, repair and possible replacement of the measuring instruments themselves is considered outside the scope of this Bulletin.

14. BIBLIOGRAPHIE / BIBLIOGRAPHY

- BONALDI, P., « Peculiar Features of the Evolution in the Application of Automated Dam Monitoring in Italy », *Hydropower & Dams*, Special issue for the ICOLD Congress, Florence, May 1997.
- BONALDI, P., VAVASSORI, M., FONTANA, P., and SACCANI, P., « Lessons Learned from AEM Experience on Automated Monitoring System », ISMES Report, 1997.
- BROWN, J. C., HUMMERT, J. B., and DAVIDSON R. R., « Real Time Evaluation of Dam Performance through Automation, Clarence Cannon Dam », ASDSO Annual Conference, Albuquerque, New Mexico, 1989.
- Comité National Suisse des Grands Barrages, « L'informatique dans la surveillance des barrages », 1993.
- DIBIAGIO, E., « Use of Computers and Data Acquisition Systems in Geotechnical Instrumentation Projects », *Norske Sivilingeniørers Forening, EDB 1 Geoteknikken, Kurs*, Trondheim, Norway, 1979.
- DUNNICLIFF, J., « Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance », New York : John Willey & Sons, 1988, 577 pp.
- HEIGERTH, G., MELBINGER, R., OBERNHUBER, P., and TSCHERNUTTER, P., « Assessing and Improving the Safety of Existing Dams in Austria », *Proceedings of the 18th Congress of ICOLD, Durban, 1994, Question 68, R58, Vol. 1 : pp. 991-1026.*
- ICOLD Bulletin No. 41, « Automated Observation for the Safety Control of Dams / L'Automatisation dans le Contrôle de la Sécurité des Barrages », 1982.
- ICOLD Bulletin No. 68, « Monitoring of Dams and their Foundations / Auscultation des Barrages et de leurs Fondations », 1989.
- ICOLD Bulletin No. 87, « Improvement of Existing Dam Monitoring / Amélioration de l'Auscultation des Barrages », 1992.
- LYTLE, J. D., « Dam Safety Instrumentation : Automation of Data Observations, Processing and Evaluation », *Transactions, ICOLD 14th Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 1982, Vol. 1, pp. 493-511.*
- MELBINGER, R., « The Austrian Approach to Dam Safety : A Symbiosis of Rules and Engineering Judgment », *Proceedings of the International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, Barcelona, 1998, Vol. 1 : pp. 45-54.*
- Proceedings, XVth Congress of ICOLD, Question 56, Lausanne, 1985.*
- SHARMA, RAM P., JACKSON, H. E., HASTIG, J. D., and DAVIS, W. L., « Deterministic Forecasting Model and Retrofit Instrumentation for Safety Monitoring of Boundary Dam », *Transactions, ICOLD 18th Congress, Durban, South Africa, 1994, Vol. 1, pp. 1079-1101.*
-

- USCOLD., « General Considerations Applicable to Performance Monitoring of Dams », 1986.
- USCOLD., « General Guidelines and Current U.S. Practice in Automated Performance Monitoring of Dams », May 1993.
- VAVASSORI, M., ANGELONI, P., GALIMBERTI, C., ZANINETTI, A., and MAZZA, G., « Optimised System for Seismic Monitoring of Dams : Acquired Experiences and Researches in Progress », Proceedings of the Symposium on « Research and Development in the Field of Dams », Crans-Montana, Switzerland, September 7-9, 1995.
- VAVASSORI, M., MENGA, R., ANESA, F., GIUSEPPETI, G., and MAZZA, G., « Static Automatic Dam Monitoring System : The interaction between the different components of the system as regards the process of acquisition and interpretation of reading », Proceedings of the Symposium on « Research and Development in the Field of Dams », Crans-Montana, Switzerland, September 7-9, 1995.
- WAGNER, E. K., and KOFLER, B., « An Advanced Automated Monitoring System », Proceedings of the International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, Barcelona, 1998, Vol. 2 : pp. 1059-1065.
- WALZ, A., « Automated Data Management for Dam Safety Evaluations », Water Power and Dam Construction, April 1989.

APPENDICES/ANNEXES (*)

Appendix A - Check list for planning steps	Annexe A - Liste de contrôle pour les phases de conception
Appendix B - Check list for system design	Annexe B - Liste de contrôle pour le projet du système
Appendix C - Check list for preparation of system specifications	Annexe C - Liste de contrôle pour la préparation des spécifications relatives au système
Appendix D - Case histories	Annexe D - Exemples

(*) In English only/En anglais seulement.

APPENDIX A

CHECK LIST FOR PLANNING STEPS

1. SELECT PLANNING TEAM

Need expertise in :

- Dam design
- Instrumentation
- Electrical engineering
- Communications engineering
- Computer applications
- Specification writing

2. UNDERSTAND THE PROJECT CONDITIONS

- Whenever possible, obtain input from the designer of the dam
- Details of dam type, layout, etc.
- Construction method
- Condition of dam
- Age of dam
- Design data
- Loading conditions
- Physical properties of construction materials
- Appropriate factors of safety
- Past and planned changes in downstream development
- Planned modifications to the dam
- Geotechnical details of the foundation
- Evaluate terrain adjacent to dam
- Groundwater conditions
- Seepage quantity and quality
- Environmental conditions
- Existing instrumentation
- History of performance : all observation and instrumentation records; all inspection reports
- Understand mechanisms that control behavior

3. DEFINE THE PURPOSE OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM

- Define the structural and geotechnical questions that need to be answered
- Expected life of instruments
- Evaluate whether advantages outweigh limitations

4. SELECT THE PARAMETERS TO BE MONITORED

- Headwater elevation
- Tailwater elevation
- Leakage flow
- Drainage flow
- Rainfall
- Temperature
- Seismic events
- Phreatic surface
- Pore water pressure
- Uplift pressure
- Deformation
- Alignment and plumb
- Load or strain
- Total stress

5. SELECT LOCATIONS OF SENSORS THAT WILL BE AUTOMATED

- Decide which are critical key sensors
- Assess reliability of existing sensors

6. PREDICT MAGNITUDES OF CHANGE

- Predict maximum value, thus instrument range
- Predict minimum value, thus instrument sensitivity or accuracy
- Predict performance levels
- Determine threshold limits

7. DEVISE REMEDIAL ACTION

- Devise action for each threshold limit
- Determine who will have contractual authority for initiating remedial action

8. ASSIGN RESPONSIBILITIES FOR FUTURE TASKS

- Procure hardware and software
- Factory calibrations
- Acceptable tests
- Installation in field
- Maintenance
- Calibrations during service life
- Establish and update data collection schedule
- Manual readings
- Office/field interaction to collect data
- Process and present data
- Interpret and report data
- Decide on implementation of results

9. SELECT HARDWARE AND SOFTWARE

- Select in terms of total system required, rather than by discrete elements
- Select system and components that are designed specifically for dam applications
- Plan for high reliability in hostile environment
- Discuss application with suppliers of hardware and software
- Ensure that each sensor can be read prior to entering the automated network
- Whenever possible, plan for accessibility/retrievability for all components
- Plan multiple, redundant systems for lightning protection
- Plan for uninterruptible power supply
- Central network monitor station in project office
- Select external communication link
- Select backup external communication link
- Plan for spare parts and standby systems
- Select hardware for manual readings
- Plan factory calibrations
- Plan acceptance tests
- Evaluate adequacy of lead time

10. PLAN RECORDING OF FACTORS THAT MAY INFLUENCE MEASURED DATA

- Construction details and progress
- Visual observations of expected and unusual behavior
- Environmental factors

11. ESTABLISH PROCEDURES FOR ENSURING READING CORRECTNESS

- Assess consequences of instrument failure
- Visual observation
- Duplicate instruments of same type
- Backup system : two different types
- Study of consistency
- Study of repeatability
- Regular in-place checks

12. PREPARE BUDGET

- Include costs, being particularly careful to make a realistic estimate of duration of the program for :
 - Planning
 - All items listed in Step 8

13. SELECT PROCUREMENT METHOD FOR FURNISHING AND INSTALLING ADAS

- Competitive proposals or two-step bidding, with lump sum price
- Competitive proposals or two-step bidding, with unit prices
- Two solicitations, ADAS supplier as vendor
- Two solicitations, ADAS supplier as professional service
- Lead role by consulting firm
- ADAS suppliers paid for design and quotation

14. PLAN INSTALLATION

- Ensure that installation does not change existing conditions
- Prepare step-by-step installation procedure well in advance of scheduled installation dates, including list of required materials and tools
- Prepare installation record documents
- Plan training of installation crew
- Coordinate plans with construction contractor
- Plan access needs
- Plan protection from damage and vandalism
- Plan installation schedule

15. PLAN REGULAR CALIBRATION AND MAINTENANCE

- Plan calibrations during service life for sensors and ADAS
- Plan maintenance for sensors, cables, and ADAS

16. PLAN DATA COLLECTION

- Plan for obtaining reliable set of initial readings
- Frequency
- Manual readings
- Office/field interaction

17. PLAN DATA PROCESSING AND PRESENTATION

- Data plot format
- Manual readings

18. PLAN INTERPRETATION AND REPORTING

19. PLAN IMPLEMENTATION

20. UPDATE BUDGET

- Include costs for planning, and all items listed in Step 8

APPENDIX B

CHECK LIST FOR SYSTEM DESIGN

1. CAUSES OF DAMAGE TO THE SYSTEM RELIABILITY

Generally, possible causes of damage to the system reliability include those inherent in the system and external ones such as lightning. Table 1 shows major possible causes and remedial measures that can or should be taken. In addition, it is advisable to investigate the adaptability of the following measures to maintain normal functioning of the system :

- The concept of redundancy for system design is regarded as very effective in ensuring higher reliability of the system. For important measurements items, it is favorable to install more than one instrument of the same function under the similar conditions or layout the instrument to enable cross-check of the measured values.

- The system should be provided with a self-diagnosis function to detect malfunction caused by internal disconnection, defective contact and other accidents.

- Periodical system inspection will be executed by experienced engineers.

- To detect any trouble in the automated monitoring system, comparison of measured values with predicted ones will be effective, in addition to checking trends of measured values and comparing those with control standard values.

- It is recommended to take the following measures to cope with possible troubles in the automated monitoring system :

- To prepare a manual which helps the site monitoring personnel to investigate the cause and to plan remedial measures.
- To establish a system which helps to provide professional advice quickly on the basis of a brief report prepared by the site monitoring personnel.
- To add a remote diagnosis function to the automated monitoring system for dams where quick dispatch of experienced engineers is difficult due to the location of dams and others.

In any case, it is important to recognize that an automated monitoring system can never be free from deterioration in the long term, and therefore, steps should be taken to detect the deterioration and take remedial measures on the basis of inspection and measurement results.

Table 1

POSSIBLE CAUSES AND REMEDIAL MEASURES CONCERNING DETERIORATION OF THE RELIABILITY OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM

Cause		Remedial Measures	Remarks
Internal factors	Defects of the system itself	<ul style="list-style-type: none"> - It is recommended to use reliable parts for important circuits in the design and manufacture stages of a system. - Careful study should be performed on any electrical interference and other mechanical characteristics for combination of system components. - Thorough screening of defective instruments should be made in advance inspection before installation, and field inspection before the start of the automated system just after installation. 	
	Deterioration of instruments	<ul style="list-style-type: none"> - The system should be designed to allow replacement of as many instruments as possible. - Since the reliability of instruments tends to rise with the decreasing number of components, the instruments should basically be simple. - Various high-reliability instruments have recently been developed. If they are available for measurement particularly important for dam safety control, their use will prove effective. 	
External factors	External effects	<ul style="list-style-type: none"> - To avoid damage by lightning, either a lightning protector or an optical coupler for connection should be employed to prevent entering of a large current into the circuit. - To avoid noise disturbance, the installation location of instruments and cables should be designed with careful consideration of the environmental conditions. 	Submersion, lightning, electromagnetic induction, vibration and others.
	Unexpected accidents	<ul style="list-style-type: none"> - An uninterruptible power supply system should be provided for important equipments. - An automatic startup function should be provided to allow the measurement system to return to the original condition after occurrence of power failure. 	Seismometer

2. A GUIDE TO SELECTION OF SENSORS

The format of a signal reaching a monitoring unit from an instrument depends on the type of sensor, and the type of any other circuits that may be used to make the data transmission more secure.

Today, there are no particular difficulties in making a connection with a data collection device, either in case of analogue or digital signals, as data collection and interface boards able to operate under the most varied of operating conditions and conforming to the numerous existing standards are widely available on the market.

The following Table 2 lists the measurement methods and the automated instrument available for the measurement of the physical phenomena of interest in static monitoring.

Some evaluation parameters are also given for the degree of difficulty in installing the instrument (their interface with process) and the automation of measurement, these being based on experience gained from working with the equipment, and knowledge of market. Finally, the Table gives a rating of cost and reliability of the installation instrument.

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY	COST
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]		
Water level	Direct pressure reading		A			A
		Hydrostatic pressure balance device		A	H	H
		In-flating pressure balance device		A	A	H
		Pressure transmitter		L	H	L
	Indirect pressure reading		A			A
		Ultrasonic level gage		L	H	A
	Direct reading by submerged sensor		L			L
		Strain gauge bridge pressure cell		L	H	L
		Carlson pressure cell		L	H	L
		Vibrating wire pressure cell		A	A	L
Quartz pressure cell			A	H	A	
Air temperature	Direct measurement by thermometer placed in weather station		L			
		Variable resistance electrical thermometer		L	H	A
Snow and rain fall	Rain gauge		L		H	A
		Rele reed		L	H	A
		Beam rain gauge		L	A	A
Atmospheric pressure	Direct reading by barometer		L			L
		Absolute pressure transmitter		L	H	L
		Strain gauge bridge absolute pressure cell		L	H	L
		Carlson pressure cell		A	A	A
		Vibrating wire absolute pressure cell		A	A	A
		Piezoresistive barometer		A	A	A

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS (continued)

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY [L= Low] [A= Average] [H= High]	COST [L= Low] [A= Average] [H= High]	
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]			
Relative humidity	Direct reading by humidity gauge		L				
		Hygrometer		L	A	L	
Water temperature	Direct reading by submerged thermometer		A				
		Variable resistance electrical thermometer		L	A	L	
Ice thickness	Direct measurement of thickness						
		Ultrasonic		L	A	H	
Water quality		Submergible multiparametric sounder		A	A	H	
Water leakage	Weir		H			H	
		Pressure transmitter		L	L	L	
		Strain gauge bridge pressure cell			L	L	L
		Carlson pressure cell			L	L	L
		Vibrating wire pressure cell			A	L	A
		Ultrasonic level gauge			A	A	A
		Wave guide level transducer			L	H	L
		Linear variation differential transformer (LVDT)			L	A	L
	Indirect measurement by velocity meters		L				
		Inductive velocity cell		L	A	A	
Turbidity of water (for all dams)	Direct reading by turbidity meter						
		Turbidity meter		A	A	A	
Horizontal Displacement of Dam body	Vertical pendulum		H			A	
	Reverse pendulum		H			A	

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS (continued)

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY	COST
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]		
Horizontal Displacement of Dam body <i>(continued)</i>	Horizontal wire line/Horizontal optical line		H			A
		Electromagnetic telecoordinometer		A	H	A
		Intelligent optical electronic telecoordinometer		A	A	A
		Linear variation differential transformer (LVDT)		A	H	A
		Pulse numbering		A	A	L
	Triangulation		A			H
	Collimation		A			H
		Microprocessor controlled collimation system		A	A	H
Horizontal Displacement of foundation	Reverse pendulum		H			H
		Electromagnetic telecoordinometer		A	H	A
		Intelligent optical electronic telecoordinometer		A	A	A
		Linear variation differential transformer (LVDT)		A	H	A
	Indirect measurement by inclinometers		L			L
		Electrolyte bubble tiltmeter		L	A	L
		Servo inclinometer		L	L	L
		Strain gauge bridge inclinometer		A	L	L
		Vibrating wire inclinometer		A	L	A
	Extensometers		L			L
		Carlson transducer		L	L	L

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS (continued)

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY [L= Low] [A= Average] [H= High]	COST [L= Low] [A= Average] [H= High]
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]		
Horizontal Displacement of foundation (continued)		Linear variation differential transformer (LVDT)		H	A	L
		Strain gauge bridge transducer		H	A	L
		Vibrating wire transducer		A	H	H
Concrete temperature	Direct measurement by thermometer embedded in the concrete		L			L
		Variable resistance electrical thermometer		L	H	L
		Optical fiber temperature sensor		H	L	H
		Vibrating wire transducer		A	H	H
		Transducer (Temperatures with another magnitude simultaneously)		H	H	L
Strain/stress in concrete	Direct reading by sensors embedded into the concrete					
		Carlson transducer		A	H	L
		Linear variation differential transformer (LVDT)		A	H	L
		Strain gauge bridge transducer		L	H	L
		Vibrating wire transducer		A	A	A
		Extensometer bars		L	H	L
Pore pressure piezoelectric reading	Open pipe piezometer		A			A
	Direct pressure reading		A			A
	Pressure transmitter			L	A	L

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS (continued)

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY	COST
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]		
Pore pressure piezoelectric reading <i>(continued)</i>		Carlson transducer		L	A	L
		Linear variation differential transformer (LVDT)		A	A	L
		Strain gauge bridge transducer		L	A	L
		Vibrating wire transducer		A	A	L
Joint and crack movement	Direct measurement of movement relative to survey markers in relation to adjacent structures		L			L
		Strain gauge bridge transducer		L	H	L
	Linear variation differential transformer (LVDT)		L	H	L	
	Carlson transducer		L	H	L	
	Vibrating wire transducer		A	A	L	
	Potentiometer transducer		L	H	L	
Rock deformation	Direct measurement relative to foundation rock by long-base strain gauge		A			A
		Strain gauge bridge transducer		L	H	L
	Linear variation differential transformer (LVDT)		L	H	L	
	Carlson transducer		L	A	L	
	Vibrating wire transducer		A	A	A	
	Potentiometer transducer		L	H	L	

Table 2
GUIDE TO THE CHOICE OF SENSORS, AN EVALUTATION
OF THE DEGREE OF DIFFICULTY OF SYSTEM INSTALLATION
AND AUTOMATION OF MEASUREMENTS (continued)

MAGNITUDE	MEASUREMENT METHOD	SENSORS	DEGREE OF DIFFICULTY		REALIABILITY [L= Low] [A= Average] [H= High]	COST [L= Low] [A= Average] [H= High]	
			REALIZATION OF INTERFACE WITH PROCESS [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]	AUTOMATION OF MEASUREMENT [L= Low difficulty] [A= Average difficulty] [H= High difficulty]			
Vertical displacement	Hydraulic circuit of open pipe		A			A	
		Variable capacity liquid level gauge		A	H	A	
		Pressure transmitter		L	L	L	
		Linear variation differential transformer (LVDT)		L	L	L	
		Carlson transducer		L	A	L	
		Vibrating wire transducer		A	L	A	
		Hydraulic leveling	Capacitive transducer	H			H
		Direct measurement by transducer		A			
			Strain gauge bridge transducer		L	H	A
			Linear variation differential transformer (LVDT)		L	H	A
			Carlson transducer		L	H	A
		Vibrating wire transducer		L	A	A	
Rotation	Direct measurement by inclinometer anchored to the structure		L			A	
		Electrolyte bubble tiltmeter		L	H	L	
		Strain gauge bridge transducer		A	A	L	
	Direct measurement by inclinometric probe and grooved casing cemented into the dam material		A			A	
		Servo inclinometer		L	H	L	
		Vibrating wire transducer		A	A	A	
		Carlson transducer		A	A	A	

APPENDIX C

CHECK LIST FOR PREPARATION OF SYSTEM SPECIFICATIONS

Although it is recognized that a guide specification would be helpful to those responsible for planning and specifying an automatic monitoring system, such a guide is not within the scope of the Bulletin. Accordingly, to provide reasonable practical guidance to prepare system specifications, the following check list summarizes the important items that should be considered for inclusion in a specification for the automated monitoring systems. The check list is reproduced Appendix C from USCOLD publication "General Guidelines and Current U.S. Practice in Automated Performance Monitoring of Dams, May 1993".

PART A - GENERAL

A. 1 Location and Description of Project

A. 2 Purpose of Automatic Data Acquisition System

- Overall purpose
- Parameters monitored
- Use of data

A. 3 Division of Responsibilities

- Procurement
- Factory calibration
- Acceptance tests
- Installation
- Regular maintenance
- Regular calibration
- Establishing and updating data collection schedule
- Data collection
- Data processing and presentation
- Data interpretation
- Reporting of results
- Deciding on implementation of results

A. 4 Specification Method

- Competitive proposals or two-step bidding, with lump sum price
- Competitive proposals or two-step bidding, with unit prices

- Two solicitations, ADAS suppliers as vendors
- Two solicitations, ADAS suppliers as professional service
- Lead role by consulting firm
- ADAS suppliers paid for design and quotation

A. 5 Qualifications

- General requirements
- Previous projects by firm
- Names of individuals at previous projects
- Requirements for field personnel
- Schedule for qualification statements

A. 6 Submittals

- Information to be submitted with proposal or bid
- Qualification statements
- Request for review of proposed system
- Calibration certificates
- Quality assurance checklist
- Warranties
- Instruction manuals
- Shipping documents
- Component samples
- Installation procedures
- Logs of installation activities
- Performance tests
- Schedule for all submittals

A. 7 Cooperation Among Parties Involved in the Work

A. 8 Site Visit

- Preproposal or prebid conference

PART B - PRODUCTS

B. 1 General Description

- System
- Components

B. 2 General Performance Requirements

- Operating environment
- Range for each parameter monitored
- Accuracy for each parameter monitored
- Methods of verifying reading correctness

B. 3 General Material Requirements

- Mechanical requirements
- Hydraulic requirements
- Pneumatic requirements
- Electrical requirements
- Longevity

B. 4 Transducers

- Pore water pressure
- Uplift pressure
- Phreatic surface
- Deformation
- Alignment and plumb
- Total stress
- Load or stress
- Temperature
- Rainfall
- Leakage flow
- Seepage clarity
- Drainage flow
- Seismic events
- Headwater elevation
- Tailwater elevation
- Ability to read each transducer manually
- Ability to read each transducer electrically prior to entering the automated network

B. 5 On-Site Remote Station RMU, LMU

B. 6 On-Site Central Collection Station

B. 7 Off-Site Master Collection Station

B. 8 Lightning Protection

B. 9 Power Supply

- Main power
- Disposable batteries
- Diesel or gasoline generators
- Solar power
- Thermoelectric generators

B. 10 Data Transmission System

B. 11 Local Communications

- Hard-writing
- UHF radio
- Back-up system
- Cable

B. 12 Remote Communications

- Telephone
- UHF radio
- Microwave
- Satellite
- Two-way communication required
- Backup system

B. 13 Software and Database Management

B. 14 Compatibility with Other Instruments

B. 15 Physical Size Limitations

B. 16 Review of Proposed System

- Requirements for review
- “Or equal” specification
- Submittals

B. 17 Factory Calibration and Quality Assurance

- Factory calibrations
- Calibration certificates
- Preshipment inspections
- Quality assurance checklists

B. 18 Warranty

B. 19 Instruction manual

B. 20 Installation Tools and Materials

B. 21 Spare Parts

- Damage during installation
- Malfunction during operation
- Readout units
- Accessible terminals

B. 22 Shipment and Delivery

- Delivery dates
- Partial shipment schedule
- Method of shipment
- Prepayment of freight charges
- Insurance in transit
- Submittal of shipping and insurance documents

PART C - EXECUTION

C. 1 Location of System and Components

- Approximate locations on drawings
- Owner’s representative will finalize

C. 2 Installation

- Step-by-step procedures
- Trenching and backfilling
- Cable routing
- Protection from damage and vandalism
- Submission for review
- Log of installation activities
- Schedules
- Acceptance tests

C. 3 Training

- Field tests
- Field verification and calibration
- Maintenance and repair procedures for components and system
- Removal, repair, replacement and transducers
- Methods for manual reading
- Analysis and reporting of data

C. 4 Regular Maintenance

- Procedures
- Schedules

C. 5 Data Collection, Processing and Presentation

- Procedures
- Format and schedule for data submission
- Frequency

C. 6 Availability of Data

- Availability of raw or interpreted data
- Schedule

C. 7 Implementation of Data

- Use of data
- Action to be taken
 - Predetermined remedial actions
 - Hazard warning levels

- Contractual responsibility
- Method of forewarning
- Consistency with non-instrumentation sections verified

PART D - MEASUREMENT AND PAYMENT

- Measurement method
- Payment method (including method of progress payment)
- Adequate definition of quantity and dimensions for payment purposes
- Pay item for every specified requirements
- Bid bond and performance bond

REVIEW OF SPECIFICATIONS

- By experienced specification writer
- By automatic data acquisition system specialist
- By personnel familiar with other sections of the specifications

APPENDIX D

CASE HISTORIES

Safety surveillance of a dam includes both a periodic visual inspection of the dam and dam performance monitoring by means of structural behavior monitoring instrumentation provided in the dam. Historically, since the inception of dam instrumentation for monitoring dam behavior, all activities involved in monitoring dam behavior have been carried out manually. In recent years, however, there has been a progressive increase in the use of automated monitoring system (AMS) for monitoring of dams and their foundations.

As has been described in preceding sections of the guide, an AMS essentially consists of three component systems : automatic data acquisition system (ADAS), data transmission system (DTS), and data processing system (DPS). The automated dam performance monitoring practice has evolved significantly during the last 20 years. However, not many published reports documenting the current practice and experience relating to all aspects of automated monitoring of dams are available. Obviously, reports documenting such experience will be truly enlightening and practically helpful to those engaged in the planning, design, installation, operation and maintenance of automated dam monitoring systems.

Nothing enhances the usefulness of a guide as including in it a number of case histories that document experience relating to the guide's subject. Accordingly, to augment the guide's usefulness, a number of case histories documenting experience on various aspects of automated dam monitoring relating to the following dams in various (member) countries are included as follows :

1. Piedra Del Aguila Dam (Argentina)
2. Durlassboden Dam (Austria)
3. W.A.C. Bennett Dam (Canada)
4. Laparan Dam (France)
5. AEM-4 Dams (Italy)
6. Kaore Dam (Japan)
7. Imha Dam (Korea)
8. Tarnita Dam (Romania)
9. NOK-AMS Layout (Switzerland)
10. Clarence Cannon Dam (U.S.A.)
11. Deadwood Dam (U.S.A.)
12. Six Dams (Spain)

1. PIEDRA DEL AGUILA DAM (ARGENTINA)

GENERAL

The systematic use of automated monitoring systems for the control of dams in Argentina started in the 1970s. At that time, monitoring of dams was carried out locally using simple data collection equipment and Automated Data Acquisition Systems (ADAS). In the 1980s, there was a general agreement on the need to integrate the performance monitoring of civil works with the remote control of power stations. This system integration permitted the acquisition of measurement data remotely by using the equipment already installed for remote control of power stations.

Automated monitoring systems have become a tool that saves a great amount of time previously devoted to manual measurements by the specialized technical staff who must inspect and control hydraulic works. Consequently, the inspection team can spend more time on maintenance, operational tasks and detailed structural inspections; aspects that are as important as instrumentation data acquisition, but had been relegated to a secondary position due to the need for taking periodic instrument readings.

In addition, computer-based automated systems allow the use of sophisticated software for processing information thus enabling a complete and rapid evaluation of the monitored information taking into account the historical trends that prevail in each measurement. Furthermore, the predicted values for each instrument are checked and compared automatically with the measurements made. If these measurements fall outside the band of control, defined by its upper and lower limits, an “ alarm ” is generated. This “ alarm ” is classified according to level and annunciated at the powerhouse control room. After being registered there, a message/signal is emitted which alerts and/or informs the people in charge of dam monitoring.

EXPERIENCE AT PIEDRA DEL AGUILA DAM

Piedra del Aguila dam is a gravity, concrete dam, with a length of 800 m at the crown and height of 170 m. Parallel to the valley, there is an ancient (buried) riverbed or “ paleo-riverbed ” (200 m deep and 1 200 m long) which is filled with alluvium. A grout curtain and a downstream drainage system were installed in the buried riverbed. Both the dam and the paleo-riverbed are monitored at 2 000 points by means of piezometers, stress-meters, extensometers, thermometers, weirs, pendulums and inclinometers which enable the performance of each of the structures to be evaluated (see Figure 1).

At the Piedra del Aguila dam, the Automated Monitoring Systems (AMS) are based on a Central Network Monitor (CNM) connected to remote monitoring units (RMU), through which it collects the information from the different instruments. By means of the central computer, it is possible to handle the information at the hydroelectric powerhouse.

The central computer allows :

- Taking instrument readings sequentially.
- Taking more frequent readings if anomalous values are detecting.
- Emitting alarms.

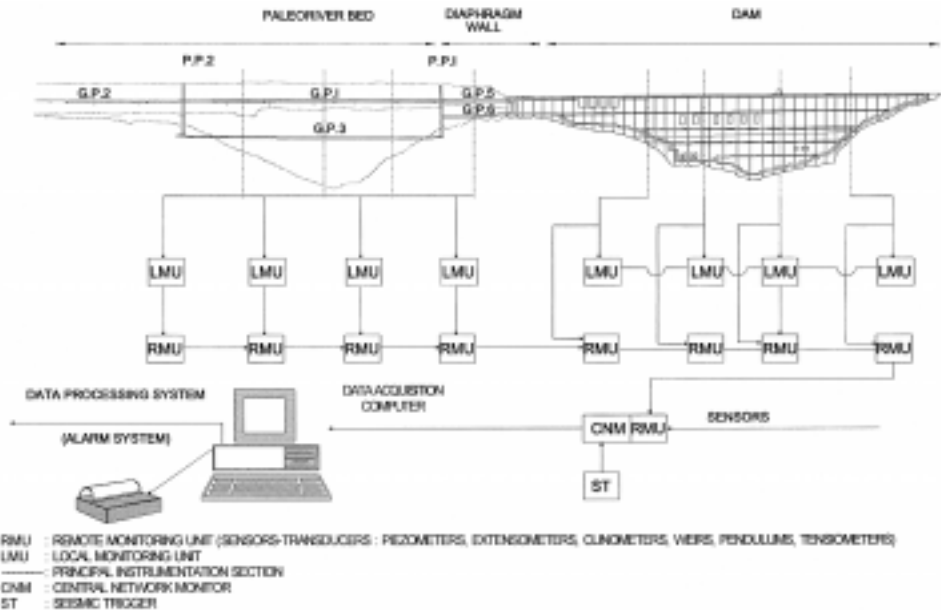


Fig. 1
 Piedra del Aguila Dam
 Automated Monitoring System (AMS)

- Reprogramming the reading sequences and frequencies.
- Manual input and editing of measurement data.
- Data processing.
- Data base management.
- Graphical and tabular display of results.

The automatic system is capable of taking consecutive sequential readings approximately every hour on all instruments provided in the dam. The system also processes the data, which includes calculation of changes in the measurements and the pre-analysis for comparison with the pre-established limits.

An existing automatic control system with a built-in seismic trigger makes it possible to record data needed to verify the dynamic response of the dam during an earthquake. If an earthquake occurs, the seismic trigger activates the data acquisition system and measurements are recorded continuously during the quake.

Measurements of pore water pressures, deformations and seepage provide a running assessment of the performance of the dam and its foundation. Furthermore, when any measurement or group of measurements fall outside predefined limits, the system performs immediately control readings on a series of predetermined instruments. This procedure makes it possible to determine whether the observed off-limit value is an abnormal variation or if it is a reading error due to malfunction of equipment, or due to behavior change in an important zone of the dam or foundation.

The “ AUSPIE ” software used in the system, designed by RED Ingenieria SRL, works in a PC environment (Windows NT). Data verification is implemented through a program that administrates the database and checks each measurement

against historical trend data and statistic values from which new acceptance values for each stage of operation are set.

The local alarm annunciation feature of the system is kept in order to give proper notice to the people in charge of the monitoring program at the dam site. The alarm system has 12 alarms of three different types :

- A. Hardware anomalous
- B. Seismic
- C. When one or more instruments in a measurement group has an anomalous value.

2. DURLASSBODEN DAM (AUSTRIA)

GENERAL

DURLASSBODEN DAM is owned and operated by TAUERNKRAFT, Rainerstraße 29, A-5020 Salzburg. It is a part of the Gerlos Scheme situated in the Federal Province of Tyrol.

The high head schemes of the Company – Gerlos, Zemm-Ziller (Tyrol), and Glockner-Kaprun (Fed. Province of Salzburg) – provide an overall capacity of 1 570 MW, TAUERNKRAFT thus being Austria's most important producer of peak energy. The total number of dams operated is 12, comprising earthfill dams, concrete gravity dams, and double curvature arch dams, the highest one being the Zillergründl arch dam (H = 186 m).

Most of these dams are equipped with a highly advanced monitoring system (total : 5 000 instruments/200 remote controlled).

The following description of the DURLASSBODEN DAM highlights some features of the monitoring system and the data management of TAUERNKRAFT.

DESCRIPTION OF DAM AND RESERVOIR

Durlassboden Dam is an 83 m high earthfill structure (TE) with a central clay core (see Figure 1). It was completed in 1966. Because of the difficult geological site conditions, core and grout curtain, respectively, were not tied to the impervious rock, but to a silt layer which extends widely in the upstream direction. So the grout curtain - by establishing a long seepage path - in combination with drainage (relief) wells provides for the necessary reduction of pore water pressure head in the downstream

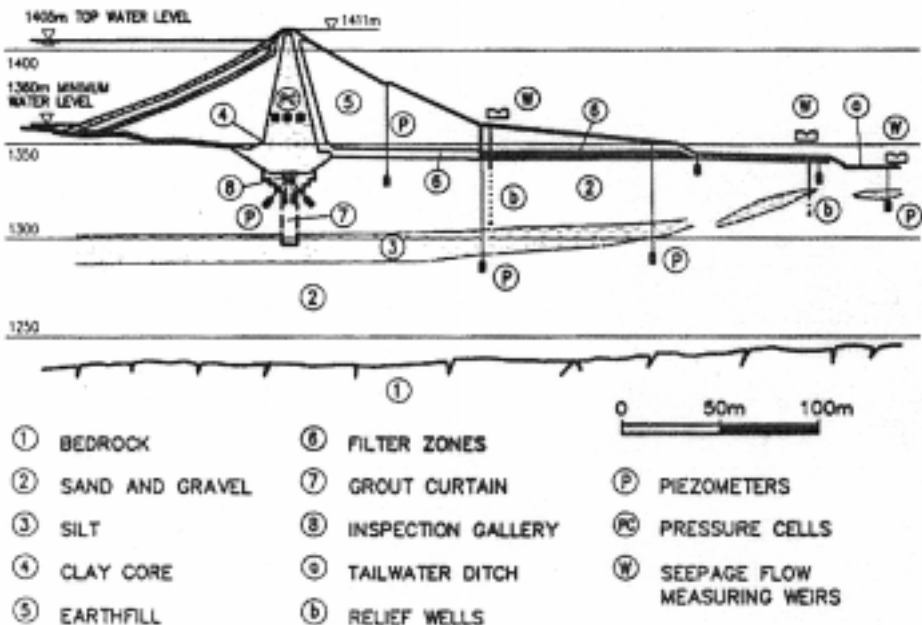


Fig. 1

Cross Section of the Dam

part of the dam, whereas seepage flow remains within acceptable limits. Filters and additional fill deposits contribute further to establishing sufficient safety against erosion and uplift. Therefore, seepage flow and pore water pressures in the downstream shoulder, abutments, and foreground of the dam are crucial issues in monitoring. As consolidation movements are still occurring in the foundation alluvium and the abutment slopes, settlement and deformations not only of the dam body, but also of the foundation (base gallery) and the abutments are a matter of concern.

In the reservoir (total storage capacity 53.5 hm³) there are several zones where slow creeping of the slopes has to be monitored.

DATA ACQUISITION

The main parameters that are monitored, the number of instruments or measurement points, and the number of instruments monitored automatically are shown in the Table below.

Parameter	Type of Instrument	Number of Instruments or Measur. Points	Monitored automatically
<i>Dam and Abutments</i>			
Reservoir Level	pressure cells	1	1
Precipitation	precipitation gauge	1	/
Seepage Flow	weirs	26	11
Pore Water Pressures			
core	pressure cells	11	/
shoulder, abutments foreground	piezometers	57	5
Deformations			
settlements	geodetic levelling lines	11	/
	hydraulic levelling lines	4	4
displacements	geodetic targets	42	/
	extensometers	9	7
	pendulum	2	2
	clinometers	10	/
	joint bolts	125	/
Visual Inspection	TV camera	1	1
<i>Reservoir Slopes</i>			
Displacements	geodetic targets	151	33
Settlements	geodetic levelling lines	3	/

Manual acquisition of data is carried out once a week at most of the measuring devices utilizing bar code and portable terminals. In cases of data that change slowly, this interval is extended to once a month or 4 times a year.

In addition to the periodical geodetic survey of the reservoir slopes, an automatic polar measurement station (self-adjusting servo theodolite) was set in operation in September 1997.

From a special measurement cabin, founded on solid rock, angles and distances to 2 fixed reference points and to 31 moving points can be measured. The retroreflecting targets are attached to concrete pillars or steel tripods situated at the slopes of the reservoir and on the dam surface, up to a distance of 2 km from the measuring station (see Figure 2).

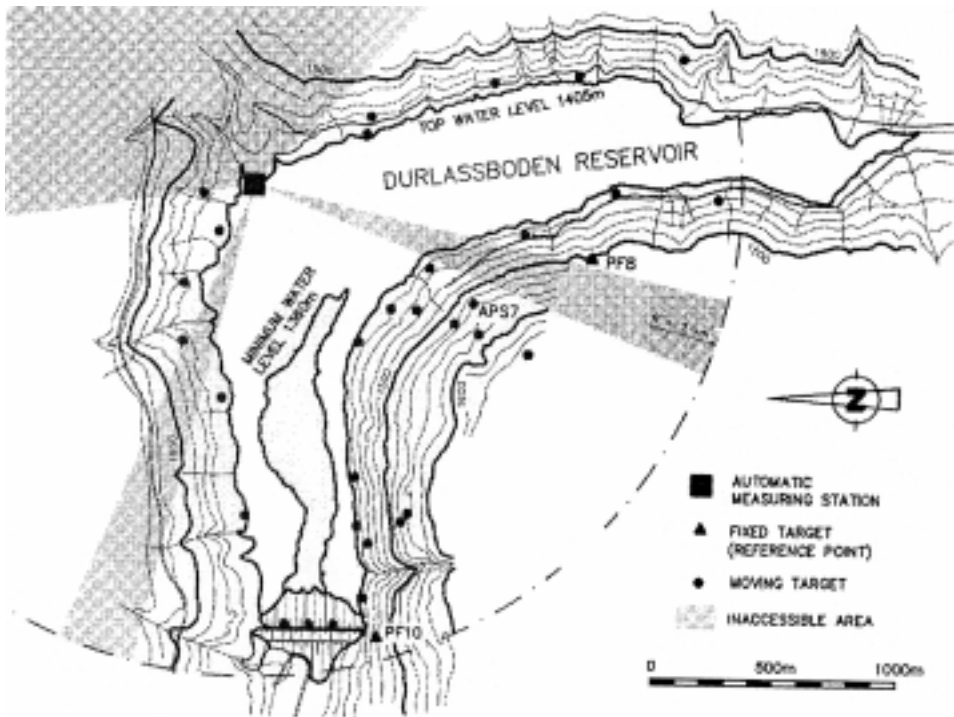


Fig. 2
Survey on Automatic Geodetic Measurement

The heart of the measuring device is a servo motorised video theodolite equipped with an electrooptical distance meter and digital temperature and pressure sensors. The system is controlled by a PC. The software enables to compute movement histories from the collected data. As an example the results for one of the moving points (APS 7) are shown in Figure 3.

During the first year of operation, considerable experience was gained concerning the favorable time for taking measurements (day/night), influence of weather conditions (especially fog and snow), and accuracy of measurement data depending on distance of targets, atmospheric disturbance etc.

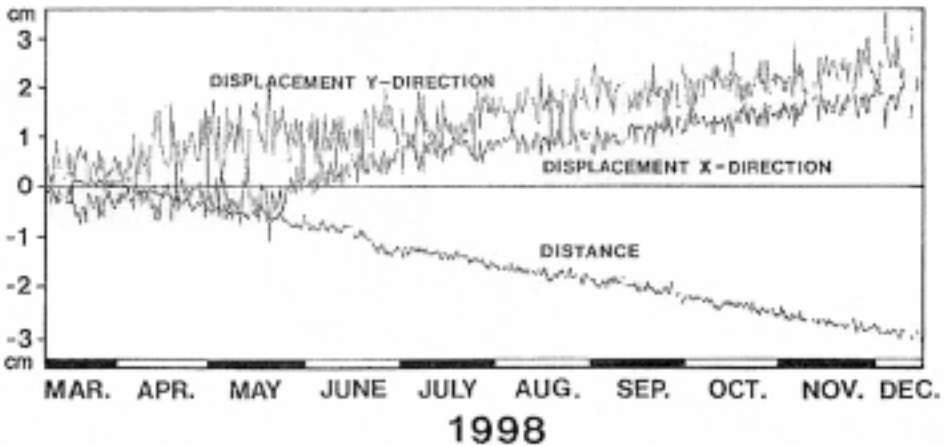


Fig. 3

Results of Automated Displacement Monitoring (Point APS 7)

DATA TRANSMISSION AND PROCESSING

Automatically collected data are displayed at the dam site and transmitted by cable to the data management and processing unit located in the permanently manned regional control center, where data from another embankment dam and three arch dams are also processed.

For all dams the general principles of data transmission and processing are as follows :

To achieve a high reliability of the system, the operability of the transmission lines and measuring units is also monitored and an internal alarm is emitted in case of defect.

Data which have been collected manually are entered into the system either at the dam site or at the regional control center, where the data are checked and processed in the same manner as the other data. Data processing is carried out on a workstation, where a lot of additional information is available relating to comprehensive survey of the plant, plan view and cross sections of the dam, and location of instruments.

The data which are considered characteristic of the behavior of each dam are compared regularly with values derived from behavior models. The predictions are polynomial or linear functions of reservoir level and concrete temperature (in the case of concrete dams) which are based on statistical analyses. If the actual behavior data of the dam are outside the admissible range, an alarm is triggered in the control center.

Following the principle of redundancy, characteristic seepage flow is monitored by comparing the data with threshold values related to the reservoir level as well as independently by an electrode in the weir box, the latter establishing a constant upper limit.

From the control center, the data are transmitted via WAN to the headquarters of the company for further processing and storage (see Figure 4). Out of the automatically collected data, one value per day for each measuring point is stored in the central data base.

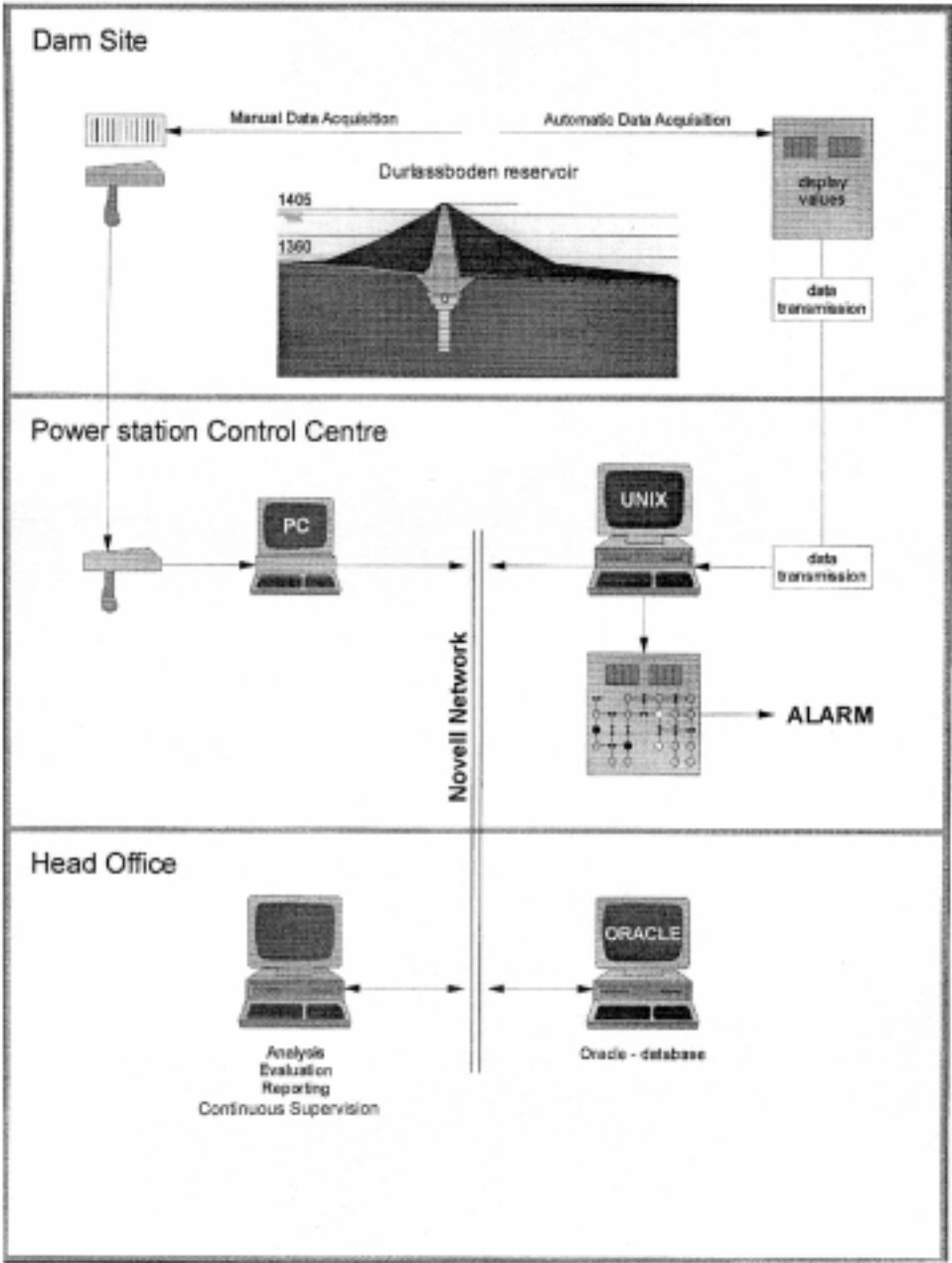


Fig. 4
Data Management (Flow Diagram)

In order to improve data processing, behavior models based on neural networks are being developed and tested at present. Application of such models to arch dam monitoring will represent the first stage of development.

3. WAC BENNETT DAM (CANADA)

INTRODUCTION

The WAC Bennett Dam is located on the Peace River in the north-eastern corner of the province of British Columbia, Canada (Fig. 1). The dam is owned and operated by British Columbia Hydro and Power Authority, primarily as a hydroelectric generation facility but it also provides annual flood control with a 360 km long reservoir which has a storage capacity of 70 km³. A ten unit underground powerhouse is located in the east abutment of the dam and utilizes the available 180 metre head (Fig. 2). The generation capacity of the plant is 2 730 MW which is about 20 % of the total provincial hydroelectric generation capacity.

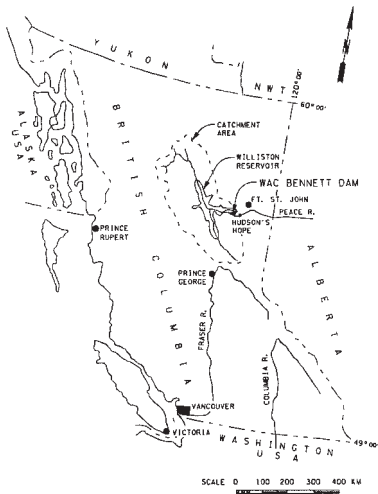
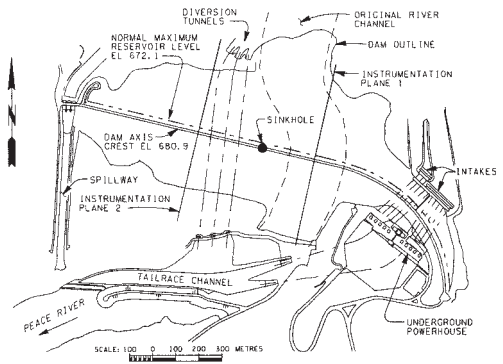


Fig. 2

WAC Bennett Dam; General Arrangement

Fig. 1

Dam Location Plan; Province of British Columbia



Construction of the WAC Bennett Dam was completed in 1968 at a maximum height of 183 metres above the original river channel (Fig. 3). The dam crest is 1 980 metres long and was completed with a two lane public roadway between the abutments. The dam structure is a zoned earthfill embankment with a non-plastic, silty sand core which is up to 170 metres wide at its maximum section in the original river channel (Ripley, 1967).

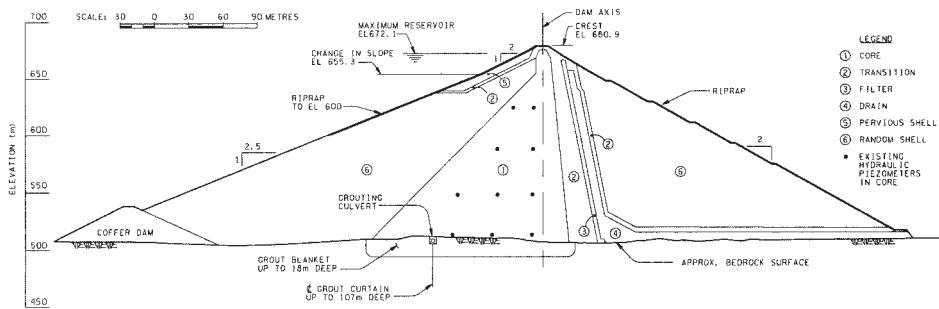


Fig. 3
WAC Bennett Dam; Cross Section at Instrumentation Plane 1
in the Original River Channel Section.

BACKGROUND

Monitoring of the performance and behaviour of the WAC Bennett Dam has been an ongoing task since the initial stages of reservoir filling in 1968. The original instrumentation network, installed during construction, was somewhat limited in scope and relied exclusively on periodic manual readings. In the mid-1980's, minor decreases were noted in the dam core pore water pressures which indicated possible changing dam performance. This phenomenon was investigated in detail during 1987 and some additional seepage monitoring instrumentation and foundation piezometers were installed (Stewart and Imrie, 1993).

Based on these developments, monitoring requirements were greatly increased, including the installation of an Automated Data Acquisition System (ADAS) in 1989 to automatically monitor output from various seepage weirs and piezometers located within the dam and the underlying foundation (Tatchell, 1991).

In June 1996, a sinkhole feature was discovered on the crest of the WAC Bennett Dam earthfill embankment. This discovery precipitated an intensive investigation program which eventually led to the successful remedial pressure grouting of the sinkhole (Stewart et al, 1998). The monitoring commitment at the WAC Bennett Dam has since been substantially increased to ensure the long-term safe operation of the structure and, specifically, to monitor the performance of the dam core. It is clearly appreciated that the consequences of failure of this immense structure would be far reaching and catastrophic.

An extensive network of geotechnical and civil instruments is now in full operation at the site. This includes instruments and sensors designed to measure piezometric levels, seepage flows, seepage turbidity, water temperatures and deformations. The total number of site instrument points has been increased from the pre-sinkhole level of 149 to the current level of 594, of which 129 are monitored by ADAS on a near real time basis (Table 1).

ADAS COMPONENTS

The Automatic Data Acquisition System (ADAS) hardware and software in current use at the WAC Bennett Dam is the System 2300 Automatic Data

Table 1
WAC Bennett Dam; Tabulation of Site Instrumentation and ADAS.

Instrumentation Type	Instrument Location	Total Number	Number on ADAS
Piezometric Levels	Foundation	105	15
	Embankment Core	56	52
	Downstream Embankment	163	5
	Reservoir/Tailrace	3	2
Seepage Flows	Foundation	7	2
	Embankment Toe	7	7
Seepage Turbidity	Turbidity Monitoring	4	4
	Sediment Collection	55	0
Water Temperatures	Downhole	31	31
	Seepage Weirs	7	7
Deformations	Foundation	3	2
	Embankment	38	2
	Displacement Surveys	116	0
Totals :		594	129

Acquisition System manufactured by Geomation Inc. of Golden, Colorado, USA. There are three essential components of the System 2300 ADAS employed at the site :

- The most important component of the ADAS is the MCU (Measurement and Control Unit), which is a microprocessor-based hardware unit that performs instrument measurements, computations and control functions according to user-specified schedules and sequencing information. A Geomation Model 2380/20 MCU is pictured on Figure 4. The Model 2380 MCU is also available as an 80 channel capacity version, specified as the Model 2380/80. Both the 2380/20 and 2380/80 model MCU's are utilized at the WAC Bennett Dam. The Model 2380 MCU is capable of acting as a stand-alone network communications repeater forwarding any messages to or from another MCU or GWS (Geonet Work Station).
- A Geomation GWS is an IBM compatible PC that is used to configure and control the MCUs. It also stores instrument readings and displays data and alarms as received from an MCU. It enables a user to interface with the MCUs thus allowing the monitoring of real-time data and alarms. If, for any reason, the communication link breaks down or the GWS is used for other computing purposes, the MCUs continue to monitor the instruments and to evaluate alarm conditions. All data from MCUs distributed throughout the site are received by the GWS and stored on its hard drive. The queued data

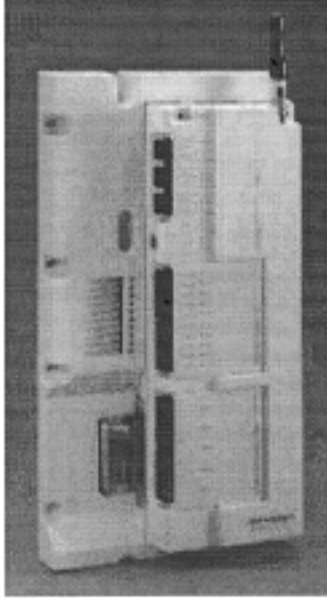


Fig. 4
Geomation System 2300
Model 2380/20 MCU

and alarm messages from the MCUs are sent to the GWS when its presence is re-detected on the network. Once communication is re-established between the gateway MCU and the GWS, the previously stored data is automatically downloaded to the GWS.

- The third component of the Geomation System 2300 ADAS is the GEONET Suite of software programs developed by Geomation, Inc. This collection of programs facilitates the end-user interaction with the MCUs, creation of the ADAS network communication parameters, displays instrumentation readings on the GWS screen in both data and graphical display and displays current instrumentation alarm conditions. The software is written for the WIN 95, WIN 98 and Windows NT operating systems. The system currently in use at the WAC Bennett Dam is the WIN 95 Operating System running on a Pentium II, 450 MHz computer configured with 64MB of RAM.

ADAS SYSTEM NETWORK OVERVIEW

The GWS for the WAC Bennett Dam ADAS is located in the Control Room of the generating station. From this location the GWS is monitored by operating personnel on a 24 hour basis. In addition, the use of remote control software is used to connect the GWS with a remote PC via both a modem link and a WAN (Wide Area Network) link. The system can then be monitored or re-configured from any location over a normal telephone line or from another workstation anywhere on the BC Hydro WAN computing system. The remote control software currently used is LAPLINK Technical published by Travelling Software Inc.

There are 8 MCUs distributed around the WAC Bennett Dam to monitor instrumentation at various locations throughout the site. One MCU acts as a

network gateway communication link to the GWS and is connected by hardware. The gateway MCU is also hardware connected to one other site MCU. Communications with the other six site MCUs is carried out by UHF radio. As each MCU completes an instrument evaluation, data is sent via the radio and/or hardware link to the GWS through the gateway MCU. The configuration of the WAC Bennett Dam ADAS network layout, as produced by the Geomation networking program GEONET Connect, is shown on Figure 5.

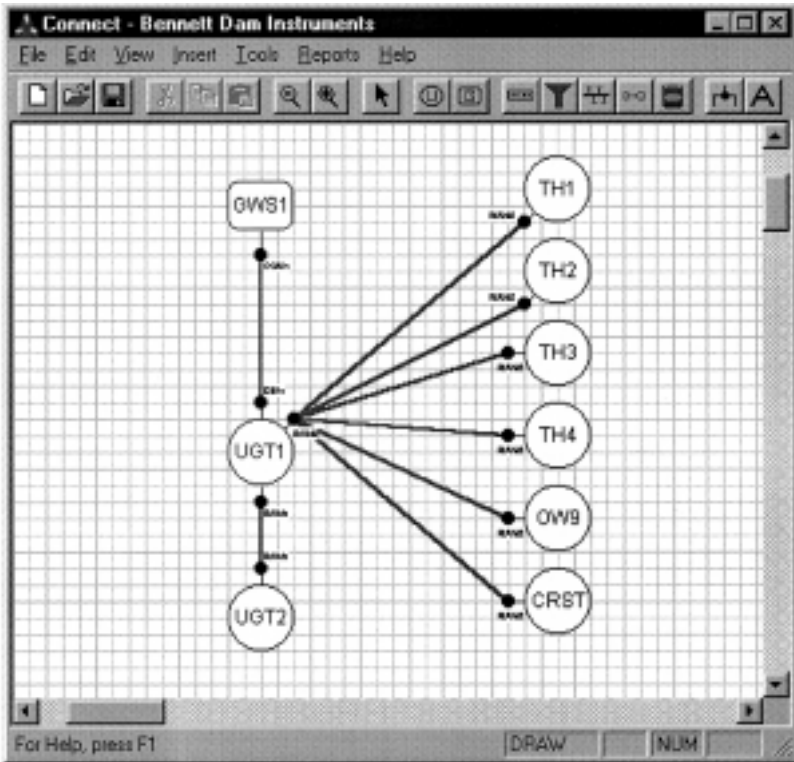


Fig. 5
WAC Bennett Dam; ADAS Network Layout

INSTRUMENTATION OVERVIEW

The WAC Bennett Dam ADAS monitors many different types of sensors and measuring devices. These devices measure such parameters as :

- Seepage flows in weirs and flumes;
- Water temperature in weirs and flumes, observation wells, standpipe piezometers, and the reservoir and tailrace;
- Piezometric levels in hydraulic and standpipe piezometers, water levels in observation wells and open casings, and reservoir and tailwater levels;
- Weather conditions including rainfall, air temperature, wind velocity and wind direction;
- Turbidity levels in seepage water passing through weirs and flumes;
- Deformation and settlement of the foundation and dam crest.

Seepage flows are measured by two different sensor types; Ultrasonic proximity sensors and Magneto-strictive linear displacement transducers. Both sensor types measure the height of water in the weir or flume and this measurement is then converted to the appropriate gauge height and calculated flow rate.

The ultrasonic proximity sensors measure the distance from the transducer head to the water surface based on the timing of the return echo signal from an initial emission. The distance calculation is based on the known speed of sound. However, the speed of sound can vary somewhat depending on temperature and humidity which can produce distance errors. The sensors used have a built-in thermistor and temperature compensating program to adjust the sensor output for temperature variations (i.e. built-in temperature compensation). Shelters were also built over the outdoor weir locations to modulate the air temperature and prevent exposure to the heat of direct sunlight. Despite these measures, it was soon realized that the built-in temperature compensation was not perfect, resulting in minor increases and decreases in measured weir flow.

More recently, a sensor type based on magneto-strictive technology was installed. The sensor consists of a hollow rod containing the magneto-strictive wire device, an electronics head and a floating toroidal magnet which fits over the hollow rod. The sensor rod is placed in the weir flow in an upright position with the floating magnet in-place and free to float up and down over the rod as the water level varies. In operation, the device sends a current pulse down the wire inside the hollow rod. When this current intersects the magnetic field produced by the toroidal magnet, a torsional pulse is exerted on the wire which is sensed by the device. By measuring the difference in time between the current pulse and torsional pulse the position of the floating magnet can be precisely determined. Weir flows measured by this device have proven to be of much better quality and accuracy than available from the ultrasonic proximity sensors. The indicated flows are not affected by temperature variations.

Water temperatures are measured by standard resistance type thermistors which change resistance in direct proportion to temperature change. The measured resistance from these sensors is easily converted to temperature.

Piezometric levels are measured by a variety of vibrating wire type downhole transducers, electrical resistance strain gauge type downhole transducers and electrical resistance strain gauge type surface mounted transducers. The electrical signals received from each transducer type are converted to a pressure head and then a piezometric elevation by the ADAS program. The transducer outputs are not adjusted for atmospheric variations as it was determined that these small magnitude adjustments would not be relevant to the overall monitoring scale. However, atmospheric pressure is recorded as a separate parameter so that a correlation can be made to any transducer output, if required.

Turbidity sensors measure the optical reflection properties of the passing seepage water in NTU (Nephelometric Turbidity Unit) values which is directly related to the amount of suspended sediment in the water (i.e. dirty water). These sensors were found to be extremely sensitive to changes in suspended sediment load. However, regular maintenance must be carried out to keep the optical window of the probe free of algae and dirt build-up.

As a visual back-up to verify high seepage flow and/or turbidity readings, a video surveillance system was installed. This system is separate from the site ADAS but has proven to be a valuable tool for confirming anomalous readings and questionable in-

situ conditions. Turbidity measurements which cause an ADAS alarm can be visually inspected by video to confirm if the water has actually become dirty or if the sensor is just in need of cleaning. Anomalous high weir flows can be confirmed or refuted remotely by taking a staff gauge reading using the video surveillance. A 24 hour cyclic video recording is made on a VCR for the permanent record.

An in-place inclinometer is used to monitor the stability of a potential shear plane in the right abutment foundation. The in-place inclinometer is placed in a vertical drillhole, across the shear plane location. Voltage output signals from the downhole inclinometer probe are converted to inclination and lateral off-sets by the ADAS program.

Settlement of the dam crest in the vicinity of the remediated sinkhole feature is monitored by ADAS using an extensometer apparatus with two linear voltage displacement transducers (LVDT). Voltage output signals from the LVDT's are converted to vertical displacement values.

ADAS CONFIGURATION AND ALARM OVERVIEW

Each ADAS sensor is wired to a specific MCU in the site ADAS network. The MCU's contain the programming information required to convert the electronic output from each connected sensor into engineering unit output. The programming of the MCU is performed by the GEONET Configure Program resident on the GWS. Details pertaining to excitation, scheduling, measurement parameters, conversion to engineering units and alarm limits are entered into the GEONET Configure Program and are subsequently downloaded to the individual MCUs. Once programmed, the MCUs act as stand-alone units performing all measurements, conversions and alarm checks, independent of the GWS. A typical configuration record for a vibrating wire piezometer transducer is shown on Figure 6.



Fig. 6

WAC Bennett Dam; Typical ADAS Piezometer Configuration Record

All raw measurements and calculated values are evaluated by the MCU but only specified intermediate and final values are communicated from the MCU to the GWS. The intermediate measurements and calculated values that are not specified for transmission to the GWS are dropped from the MCU internal memory.

The site ADAS is programmed to read each instrument sensor and write the desired value to the GWS computer hard drive on a regular basis. All instruments

are scanned every 10 minutes at which time the resulting value is tested for alarm limits. If the value is within the pre-set alarm limits the reading is only recorded on every 6th evaluation. This method allows the instrument to be checked for an alarm condition 6 times an hour but only record a measurement to the GWS once per hour. If the measured value is outside either the high or low alarm limits, an alarm condition is registered and every reading is written to the GWS computer hard drive until the alarm condition is cleared. By this methodology, 6 readings per hour are recorded during an alarm condition which provides a detailed record of the event.

The ADAS alarm limits are based on performance limit bounds. For each piezometer a bounds limit equation is developed based on the historic reading levels of the piezometer versus the corresponding reservoir elevation. Figure 7 shows a typical piezometer bounds limit determination plot.

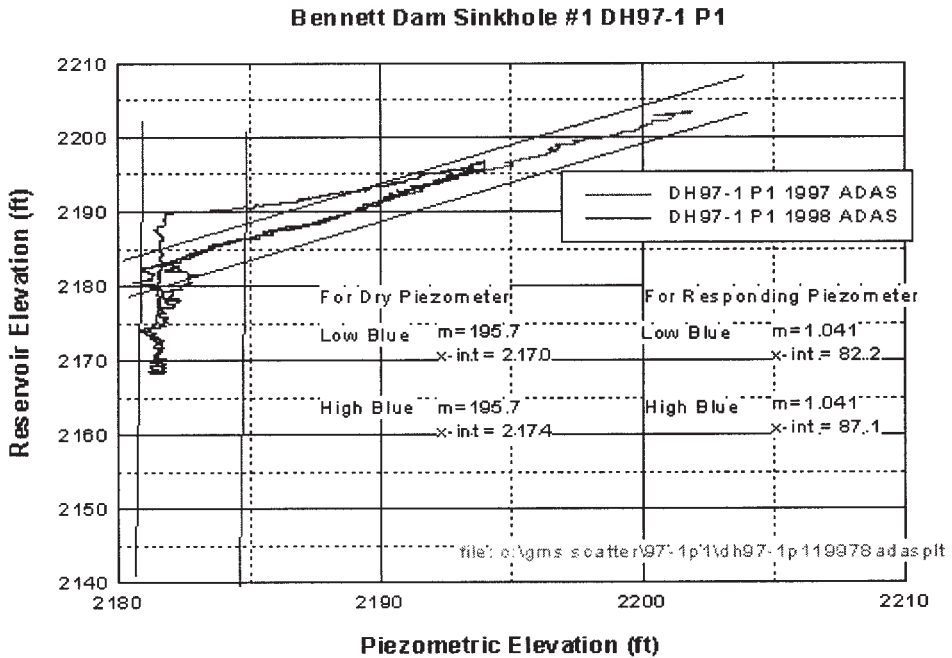


Fig. 7
WAC Bennett Dam; Typical ADAS Alarm Bounds Limit Plot

All instruments which are deemed critical to the safety of the dam have alarm limits programmed into the evaluation of their sensors. The alarms have been configured to monitor both the output of the sensors and the calculated value of the resulting engineering unit. The GEONET software has been configured to display and enunciate alarms in several different ways. This has allowed the development of a priority system for the response to alarms

Each instrument sensor has an associated alarm priority defined as follows :

Priority 1 : The sensor output has completely exceeded the alarm limits. This alarm is displayed as a red bar background behind text which describes the particular alarm condition. This alarm is also enunciated on the Plant Operator's

alarm panel. Pre-defined emergency response actions, involving the site surveillance staff, are immediately initiated.

Priority 2 : The sensor output has not exceeded the alarm limit but has crossed a boundary which is approaching the limit. This is a warning function intended to alert site surveillance staff of the pending alarm condition. This alarm is displayed as a blue bar background behind text which describes the alarm condition. This alarm is not enunciated to the Plant Operator's alarm panel. When this alarm condition is observed on the GWS alarm screen by the site surveillance staff, appropriate actions are taken to investigate the sensor.

Priority 3 : These instruments are not alarmed. Readings are taken for archival and/or data gathering purposes only.

REFERENCES

- RIPLEY, C.F., 1967. " Portage Mountain Dam: I, An Outline of the Project ", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 4, No. 2, Pages 125 - 141.
- STEWART, R.A. and IMRIE, A.S., 1993. " A New Perspective Based on the 25 Year Performance of WAC Bennett Dam ". *Proceedings of the International Workshop on Dam Safety Evaluation*, Vol. 1. Grindelwald, Switzerland.
- STEWART, R.A., WATTS, B.D., SOBKOWICZ, J.C., KUPPER, A.C. and GAFFRAN, P.C., 1998. " WAC Bennett Dam - The Characterization of a Crest Sinkhole ". *Proceedings of the 1st International Conference on Site Characterization*. Atlanta, Georgia, USA.
- STEWART, R.A., GARNER, S.J., SCOTT, D.L. and BAKER, J.R., 2000. " Surveillance - The Cornerstone of Dam Risk Management ". *Proceedings of the 2000 Congress of the International Committee on Large Dams*. Beijing, China.
- TATCHELL, G.E., 1991. " Automatic Data Acquisition Systems for Monitoring Dams and Landslides ". *Proceedings of the 3rd International Symposium on Field Measurements in Geomechanics*. Oslo, Norway.

4. LAPARAN DAM (FRANCE)

GENERAL

As in many other European countries, and Japan, dams in France are almost always located upstream of large cities or industrial areas. Therefore, because of the disastrous consequences of the failure of such a dam, ensuring continuous safety control of the dam is imperative. Such safety control is performed through visual inspection and systematic monitoring of the dam by means of instrumentation provided at the dam site.

About thirty dams in France are presently monitored by remote (automated) monitoring systems; and every year, one or more additional dams are added to the list. The decision to implement an automated data acquisition system (ADAS) at a dam is made by the owner, generally on the basis of the following criterion:

- Difficult accessibility to the dam site due to wintry conditions,
- The need to carefully follow particular behavior trends, and
- To reduce the time spent taking manual readings when there is a large number of sensors in the system.

ADAS systems are based on standard equipment currently available from geotechnical sensor manufacturers except for dams operated by Electricité de France where a so-called “ Proprietary ” system developed fifteen years ago is still being used. Some features of this remote monitoring system as implemented at Laparan Dam are described in detail below.

SYSTEM DESCRIPTION

Laparan Dam is a double curvature arch dam commissioned in 1985. A remote data acquisition system was installed and used to monitor a limited number of sensors prior to the first filling of the reservoir, and by the end of first filling, it was expanded to include all the sensors (see Figure 1) in the monitoring programme, namely :

- 18 plumb lines,
- 19 piezometers, and
- 4 leakage measurement points.

These sensors are connected by electrical cables to the datalogger located in the gallery at level 1472. In some other dams where there is a high risk of damage due to lightning or interference caused by electromagnetic radiation, optical fiber communication links between sensors and the datalogger have been used.

The telependulums SAFTEL-TOP are of the optical non-contacting type. The measuring range is 50×50 mm with a measurement accuracy of 0.02 mm. The output is a serial digital signal (RS 232 or RS 422). Built-in processors can detect classical anomalies in the measurements, store conversion constants and process the measurements, etc. It can be said that SAFTEL-TOP is a Smart sensor.

The pore pressure sensors are classical vibrating-wire, non-vented piezometers installed in boreholes.

Leakage is measured in an open channel equipped with a weir. An ultrasonic probe located above the channel measures the water level. The output is a serial

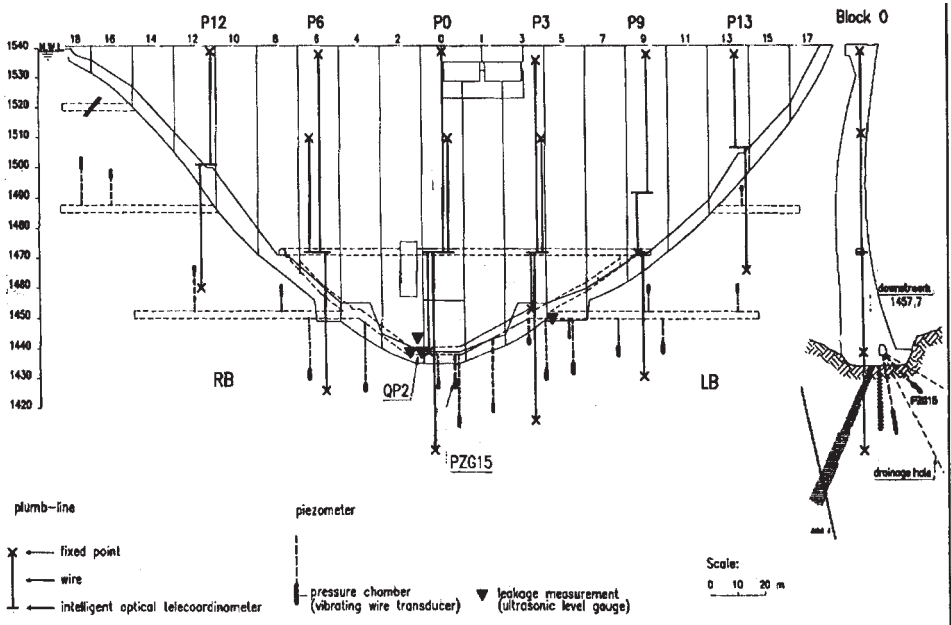


Fig 1
Remote Monitoring System at Laparan Dam

digital signal (RS 232 or RS 422). The probe includes internal signal processing, thus, like the Teependulum it is also a Smart sensor.

The datalogger, named SAFTEL PAD, may be connected to up to 768 data links, through electronic conversion interfaces adapted to almost all types of geotechnical sensors (digital output, frequency, 4-20 mA, resistance, etc.). It contributes to a high degree of reliability for the whole network through its active overvoltage protection system and automatic Power-Off mode when it is not actively logging instruments.

Data transmission from the dam is over the owner's private network or the national telephone network; therefore, operators can request readings and receive measurements from any location connected to these networks.

Data processing is performed both locally by operators of the dam, and at other locations by dam specialists. The diagnoses are based on comparisons with expected values, calculated by statistical methods. No difference is made between a manual monitored dam and one that is remotely monitored. The main advantages of an ADAS are the quality of readings and the ability to adapt the measurement frequencies according to needs.

Manual readings are performed four times a year as a test of the automated system.

PERFORMANCE OF THE SYSTEM

SAFTEL PAD has been operating successfully for more than ten years at Laparan Dam, with an average rate of 3 % transmission errors. During the first

year, several maintenance operations were necessary due to the prototype aspects of the new system. Today, routine maintenance is done only once a year.

Quality of Readings

Figure 2 shows results of pendulum measurements of radial and tangential displacements during the first and subsequent fillings of the reservoir. Figure 2-B

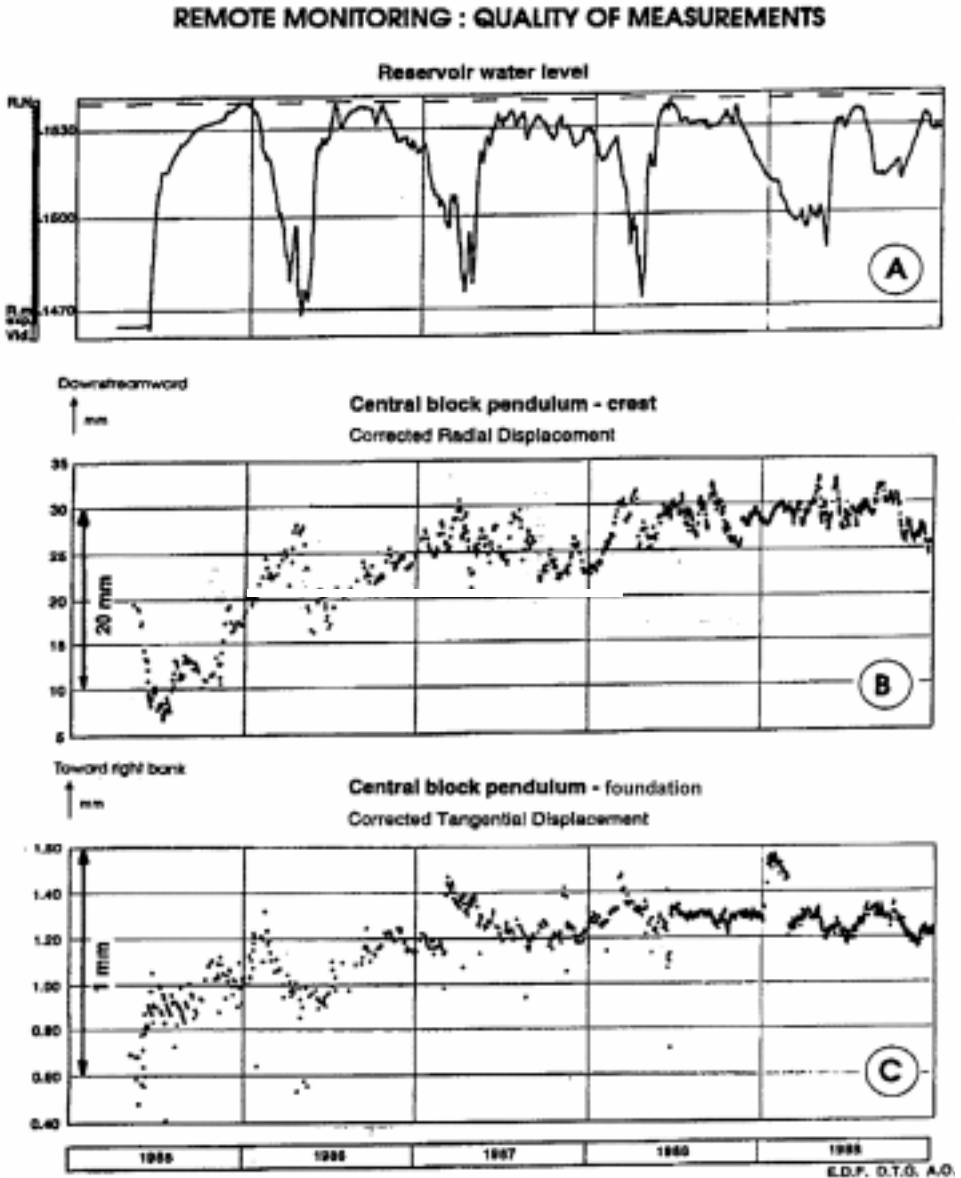


Fig 2
Laparan Dam - Accuracy of Measurement

shows the downstream radial displacement of the crest of the central block. It can be seen that the effects of the irrecoverable (inelastic) foundation settlements under the thrust of the dam caused a downstream displacement of 10 mm and 5 mm for the first two fillings. Since the second filling, a slow drift due to concrete creep has been observed.

Figure 2-C shows the tangential displacement of the foundation. It should be noted that the telependulum has a measurement accuracy of ± 0.02 mm, thus, very small anomalies can be detected.

Furthermore, the large amount of data gathered during the first year made it possible to carry out very early statistical analysis in order to calculate the effects of hydrostatic thrust and temperature on the performance of the dam. Comparison of these values with the values computed by finite element analysis made it possible to be well informed about the behavior of the dam.

Detection of Anomalies

Piezometric levels are quite high in the rock foundation downstream of central blocks due to the opening (separation) at the upstream heel of the cantilever. This feature is often encountered in arch dams. In May 1988, the dam was filled quickly at a time when the concrete was still at a low temperature. This led to a maximum deflection of the cantilever heel with consequent opening of the rock to concrete contact. Remote monitoring makes it possible as in this case to survey daily phenomenon that have occurred. The first rise in piezometric levels was linked to a corresponding increase in leakage up until the end of May 1988. Following this, a decrease in both levels has been observed, except during two short periods indicated by the letter "A" in Figure 3, where a fall in piezometric level corresponds with an

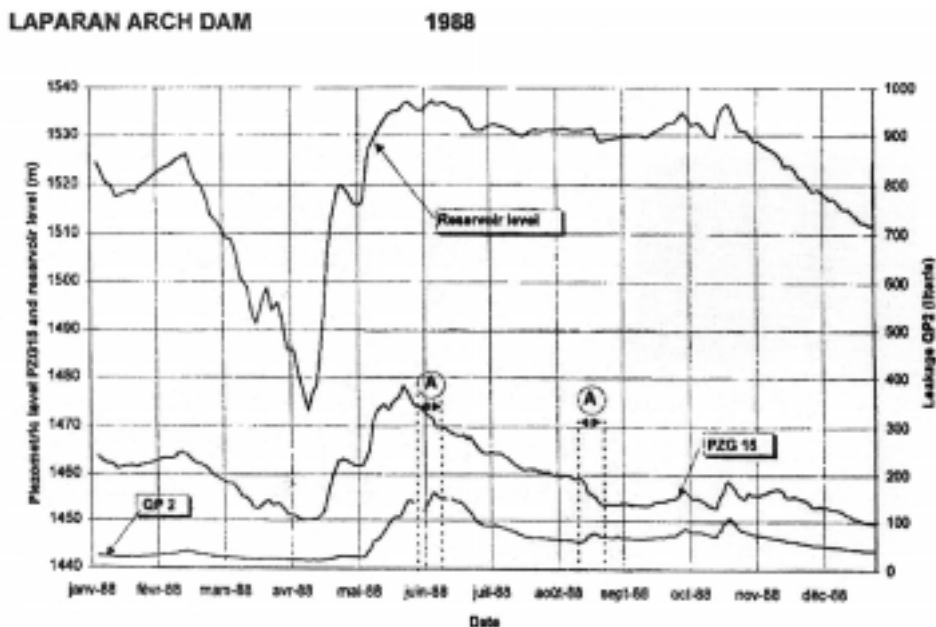


Fig. 3
Laparan Dam - Detection of Anomalies During Year 1988

increase of leakage. This response is apparently due to inadequate sealing of the piezometric boreholes in the zone where they cross the dam/foundation interface.

During all these periods, specific operating rules with different alarm levels according to the piezometric and leakage values were adopted, and the remote measurements were obviously of great help in establishing these limits.

CONCLUSION

As a concluding comment, it can be said that for the same amount of time spent by operators, surveillance of Laparan Dam has been much improved because of three factors :

- Time saved in taking readings is now devoted to better inspection of the dam;
- Concentration on key tasks makes the local operators more capable of detecting anomalies and gives them a better sense of their responsibility in safety control; and
- Measurement quality and increased number of readings make it possible to considerably shorten the time necessary to obtain a good understanding of the behavior of this recently built dam. Moreover, detection of anomalies and accurate surveillance of particular events are greatly improved.

5. AEM-4 DAMS (ITALY) (Integrated Application of ADM)

FOREWORD

The practical application of automated dam monitoring has undergone a significant development in Italy in recent years as a result of the technical awareness of dam owners. From the pilot applications of the early 1980s, the applications have become more systematic and programmed.

Comprehensive manual monitoring systems have been installed on almost all Italian dams since many decades. In the last decade, many dam owners, taking into account the possibilities of automation, reviewed and updated the existing measurement networks, so that presently about 120 (99 of which are installed on ENEL dams) dams are monitored by automated monitoring and control systems.

In updating dam monitoring systems, dam owners had carefully evaluated the advantages and disadvantages of the use of the new technologies, implementing those components of the automated monitoring that were considered to deserve a higher priority.

Among these owners, and in the frame of its general safety program, ENEL has been since long committed to the rational and advanced solution for the automated monitoring and the surveillance of dam behavior.

A number of factors have influenced the definition of the general terms of the questions, the more important of which are :

- ENEL basic choice to remotely monitor its dams availing itself of the 24 hours operating structures for the management of the production plants; and
- A more rational and effective organization of the personnel and its use in more qualified activities.

The standard technical solution proposed by ENEL can be summarized as follows :

- Installation, in the Warden house, of a Standardized System for the Static Monitoring of Dams (ESSDI), which automatically and continuously records and processes the main measurements (water level, temperature and rainfall, dam displacements and rotations, piezometric levels, leakages, etc.); and
- Installation, in the production plant Remote Management Room (PT - Posto di Teleconduzione), of equipment that continuously receives data from the ESSDI. The PT has the responsibility to actuate pre-defined communication procedures in case of alert conditions. The monitoring data are finally stored in an ENEL Information System that can be accessed from remote terminals for off-line processing.

Through the introduction of the ESSDI-PT system (monitoring) and the setting up of periodic inspections by specialized personnel (surveillance), ENEL fulfils the requirement of assuring continuous dam surveillance.

In addition to ENEL the example of AEM Milan (Azienda Energetica Milanese) is worthy of discussion.

CASE HISTORY: AEM MONITORING SYSTEM

AEM - Milano manages 4 dams located in the Valtellina area (see Fig. 1 and Table 1), each of them equipped with an automatic monitoring system. A complex network has been designed in order to assure a centralized remote control of the monitoring systems installed on dams (see Fig. 2 and Table 2). Each data acquisition process is managed by a local ADAS (Automatic Data Acquisition System) installed at the dam site; all the measurements automatically collected by the ADAS are transmitted by a private telephone link to a remote Multi Dam CNM installed at Grosio power plant. The Multi Dam CNM works as a remote terminal of each ADAS allowing a complete control of the ADAS process. The Multi Dam CNM is directly connected to an Expert System for the on-line evaluation of the measured behavior and to an off-line Data Processing System. The DPS manages the historical data base of the measurements and assures a complete capability of data processing and reporting.

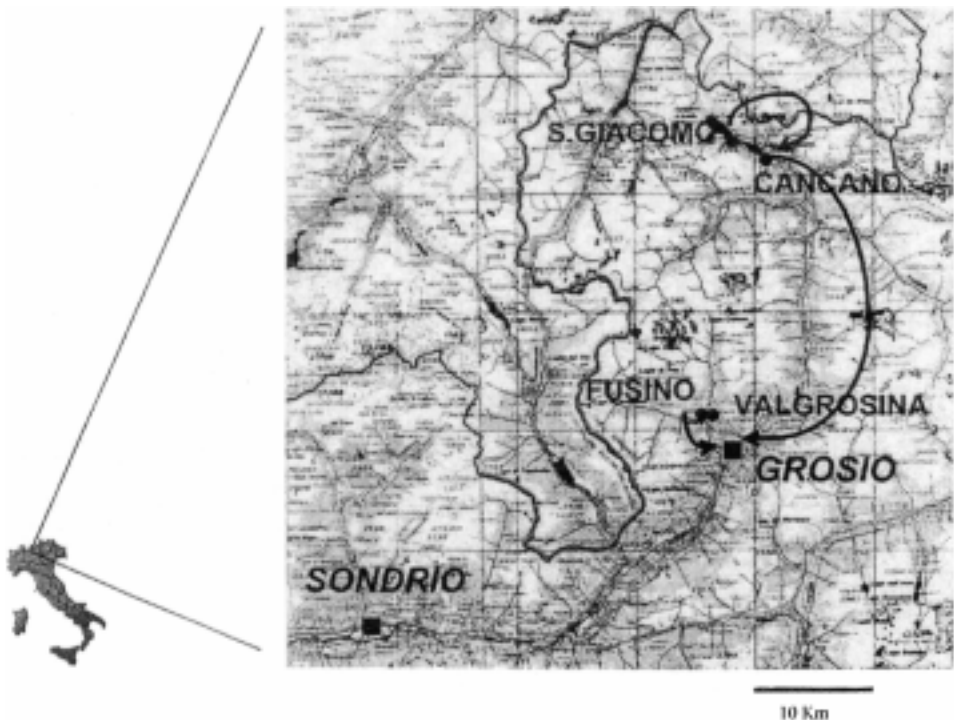


Fig. 1
Dam Location on Valtellina Area

Table 1
AEM MI – Dam Characteristics

Dam Name	CANCANO – 1956	INSTRUMENTAL NETWORK 47 automatic instruments (thermometers, strain gauges, levelmeters, rain gauges, storage level) and 4 smart sensors (telecoordinometers) acquired by the monitoring system (ADAS) started in 1987. 197 manual measurements (thermometers, direct and reverse pendulum, weir gauges, strain gauges)
Dam Type	Arch gravity	
Height (m)	136	
Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)	127	
Length of Crest (m)	381	
Elevation of Crest (m.s.m.)	1902	
Dam Name	S. GIACOMO – 1950	INSTRUMENTAL NETWORK 48 automatic instruments (piezometers levelmeters, storage level) and 3 smart sensors (telecoordinometers) acquired by monitoring system (ADAS) started in 1987. 196 manual measurements (thermometers, direct and reverse pendulum, weir gauges, strain gauges)
Dam Type	Buttress	
Height (m)	91.50	
Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)	64.00	
Length of Crest (m)	970.50	
Elevation of Crest (m.s.m.)	1951.50	
Dam Name	VALGROSINA – 1959	INSTRUMENTAL NETWORK 71 automatic instruments (thermometers, strain gauges, piezometers, teledilatometers, storage level, etc.) and 3 smart sensors (telecoordinometers) acquired by the monitoring system (ADAS) started in 1991. 196 manual measurements (thermometers, direct and reverse pendulum, weir gauges, strain gauges)
Dam Type	Buttress	
Height (m)	51.50	
Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)	1.34	
Length of Crest (m)	286	
Elevation of Crest (m.s.m.)	1212.50	
Dam Name	FUSINO – 1950	INSTRUMENTAL NETWORK 8 automatic instruments (thermometers, strain gauges, etc.) and 1 smart sensor (telecoordinometers) acquired by the monitoring system (ADAS) started in 1991. 5 manual measurements (thermometers, coordinometers, etc.)
Dam Type	Masonry arch gravity	
Height (m)	58.45	
Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)	0.183	
Length of Crest (m)	72	
Elevation of Crest (m.s.m.)	1156.70	

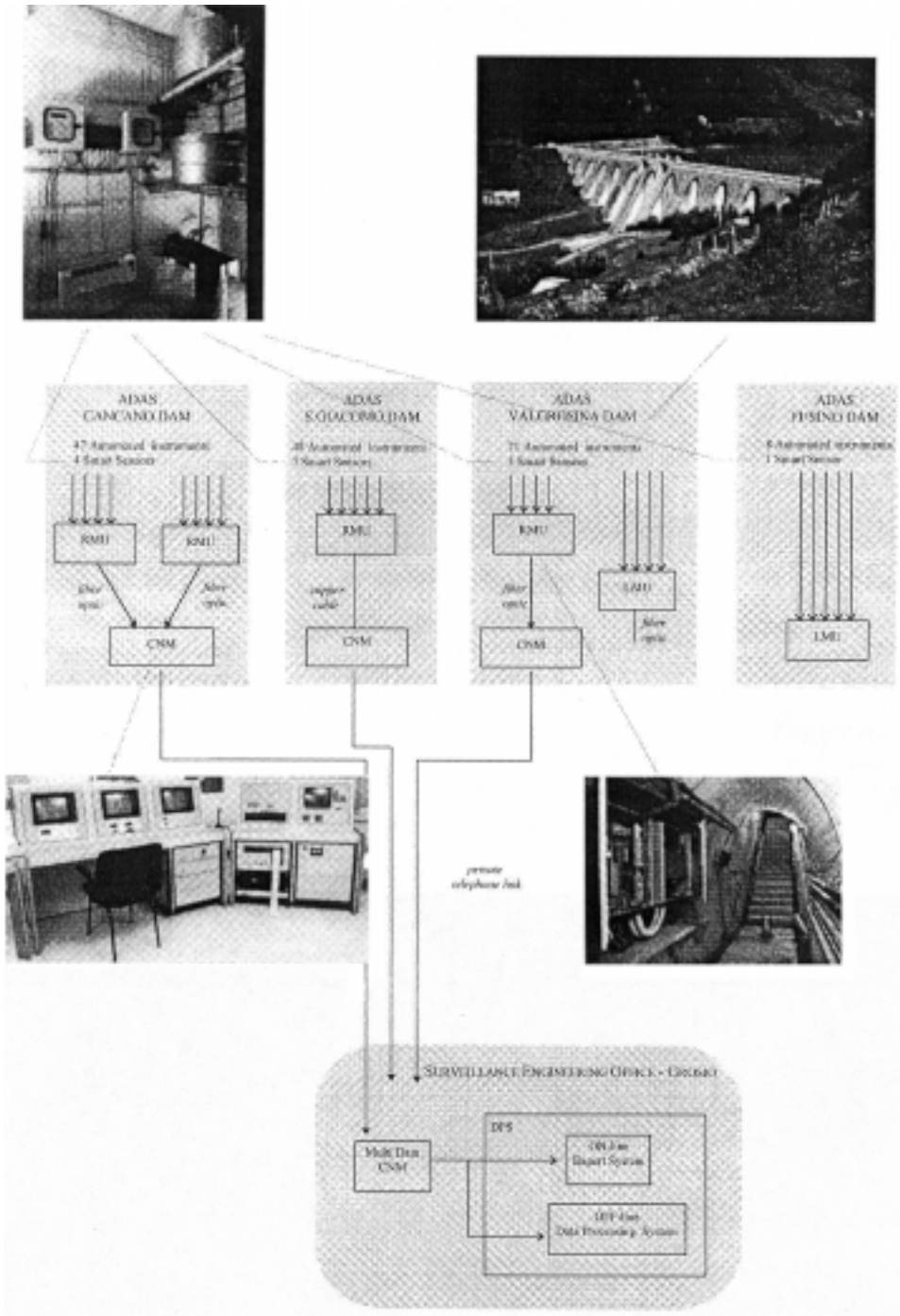


Fig. 2
ADAS Configuration

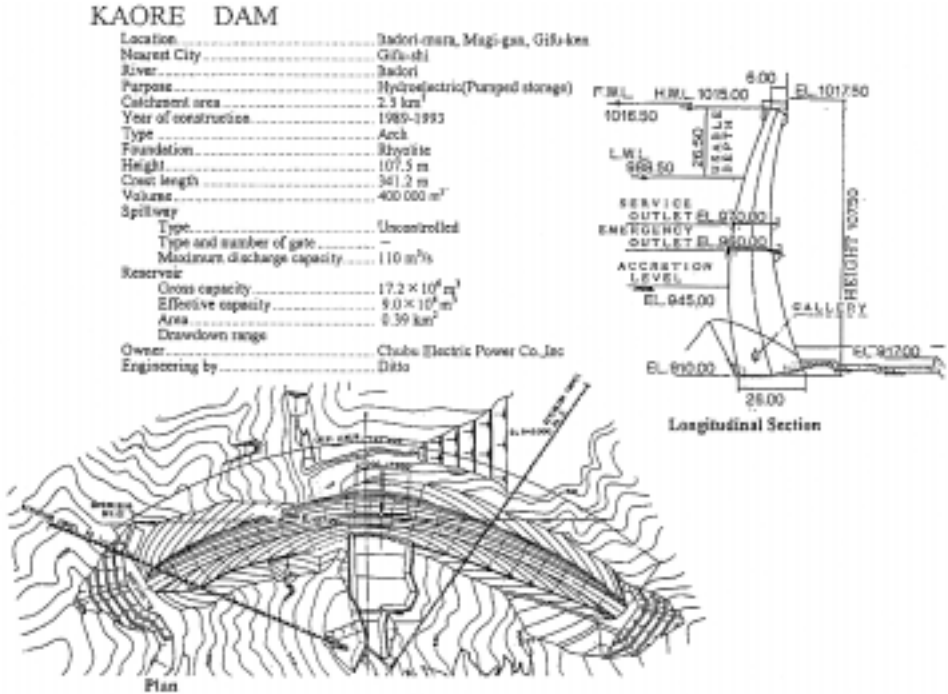
Table 2
AEM MI – ADAS Configuration

Dam	Automated Instruments	Smart Sensors	Monitoring Units Location		DTS		Location	
			Distributed	Centralized	Local	Remote	CNM	DPS
CANCANO	47	4	2 × RMU		Fiber Optic	Telephone Line	Dam	Grosio Power Plant
S. GIACOMO	48	3	1 × RMU		Copper Cable	Telephone Line	Dam	Grosio Power Plant
VALGROSINA	71	3	1 × RMU 1 × RMU		Fiber Optic	Telephone Line	Dam	Grosio Power Plant
FUSINO	8	1		1 × LMU		Fiber Optic	Valgrosina Dam	Grosio Power Plant

6. KAORE DAM (JAPAN)

GENERAL

Kaore Dam is a 107.5 m high concrete arch dam completed in 1993, and provides an upper reservoir for a pumped storage powerplant. Reservoir water level initially reached high water level in December 1994 and the powerplant is currently in service.



Kaore Dam
Cross Section and Plan

OBSERVATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

Kaore dam has seven seismographs in the dam body and in its foundation rock. Furthermore five hydrodynamic pressure meters are installed on the upstream face of the dam in order to record hydrodynamic pressure during earthquake. The hydrodynamic pressure meters are of the newly developed differential pressure type.

The seismic monitoring system recorded interesting data during the Hyogoken-Nambu Earthquake on 17 January, 1995 (M 7.2, Distance from epicenter; 190 km). Peak acceleration at the crest was 83 gal (0.08 g), and 9 gal (0.009 g) in the foundation rock. Three hydrodynamic pressure meters were active at that time, and successfully recorded the hydrodynamic pressure during the earthquake. Figures 1 and 2 show the time history of hydrodynamic pressure and pressure distributions at the time when maximum values were recorded by the meters respectively. For

comparison, pressure distribution derived by using H. M. Westergaard's equation is also shown in Figure 2.

Analysis and evaluation of sufficiently accumulated above-mentioned seismic records will contribute to refinements in the seismic design of arch dams.

Two of the installed hydrodynamic pressure meters (No. 5 and No. 2) did not function during the January 1995 earthquake for possibly the following reasons:

- The exposed transmission cable for sensor No. 5 at the lowest location had broken due to rise of frozen water surface during first impoundment. The cable was exposed because this hydrodynamic pressure meter was installed after the completion of the dam in order to increase the number of measurement points. Consequently the cable could not be embedded in the dam body and was laid on the upstream face of the dam. This experience suggests that it is important to establish an adequate measurement program prior to the construction.
- The sensor No. 2 did not function probably because of clogging at the sensor filter. This sensor had functioned properly during preceding earthquakes.

Generally, remedial measures against freezing will be necessary in the cold area.

AUTOMATED MONITORING OF DAM DISPLACEMENTS

Behavior of the dam should be carefully observed, especially during the first impoundment. One of the most important measurements for monitoring dam behavior is dam displacement. Dam displacement is monitored by plumb lines or by precise survey of targets mounted on the top and downstream face of the dam. As access to Kaore Dam is almost impossible in winter due to heavy snowfall, the owner installed an automated measurement system for monitoring measurement of dam displacements independent of measurements by the plumbline. The purpose was to ensure the reliability of the measurement system during first impoundment even in winter, based on the redundancy concept.

Essentially, the automated measurement system for external measurement of displacements consists of a "total station" and some target points mounted on the dam crest as shown in Figure 3. The "total station" obtains coordinates of target points by measuring the distance and the angle between fixed "total station" and each target point one by one automatically. Sight to "total station" and the target points are maintained by providing double glass walls with electrical heater for snowfall conditions.

Figure 6 shows comparison between displacements measured by the automated monitoring method and the plumb line, indicating that the displacements agreed closely. Generally, accuracy in measuring angles is worse than that for distance measurement. In case of Kaore Dam, the configuration of the "total station" and targets was chosen so that the displacements of the dam were mainly determined by distance measurements.

Generally, a "total station" should be located downstream of dam, in order to avoid the influence of ground deformation due to impoundment of reservoir on the measurements. In case of Kaore Dam, however, it was impossible to do so because of topography. Based on the careful survey of surrounding area, total displacement of the foundation of "total station" was found to be 14 to 19 mm during impoundment. This indicates that the displacement measurements by the "total station" were somewhat influenced by the ground deformation.

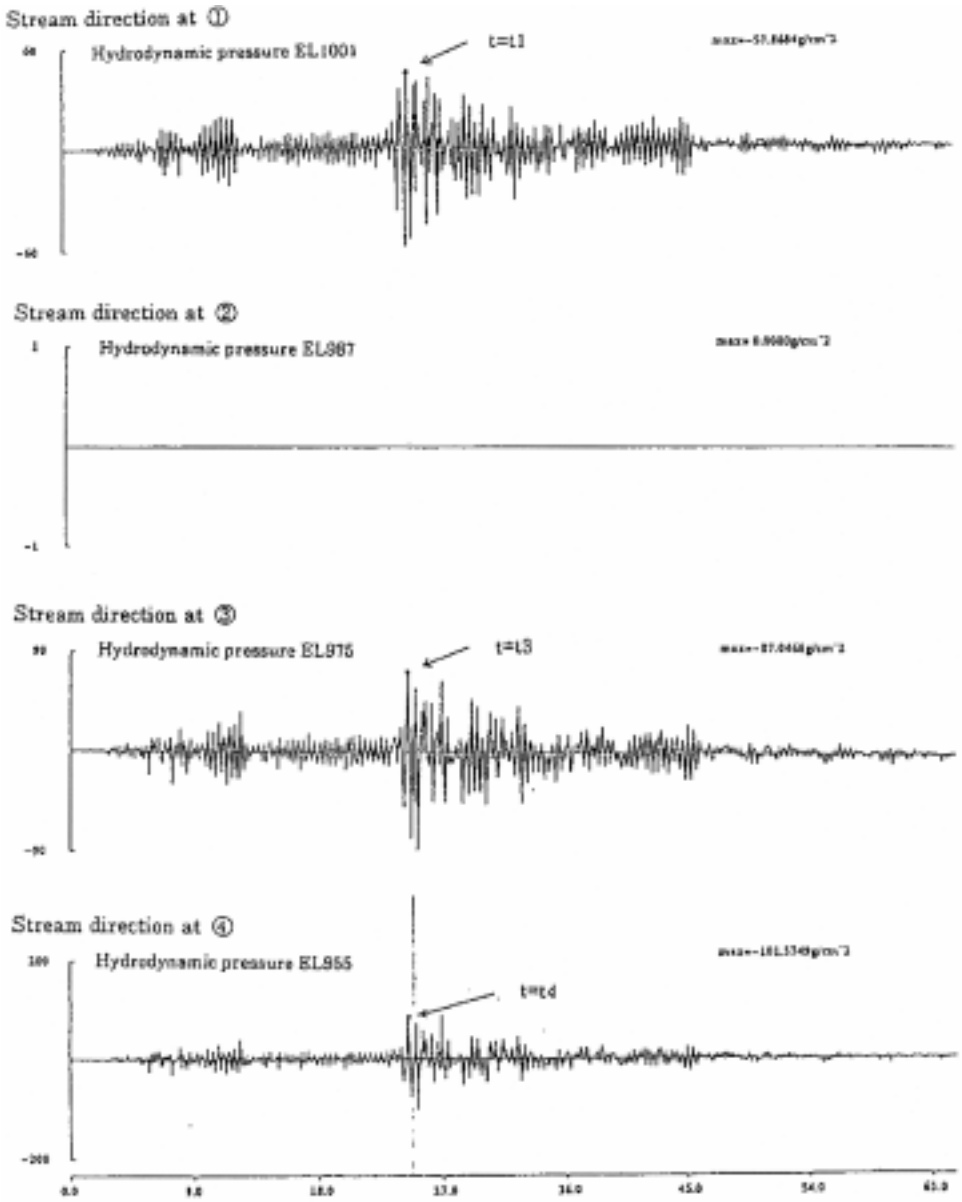


Fig. 1
Time-history of hydrodynamic pressure

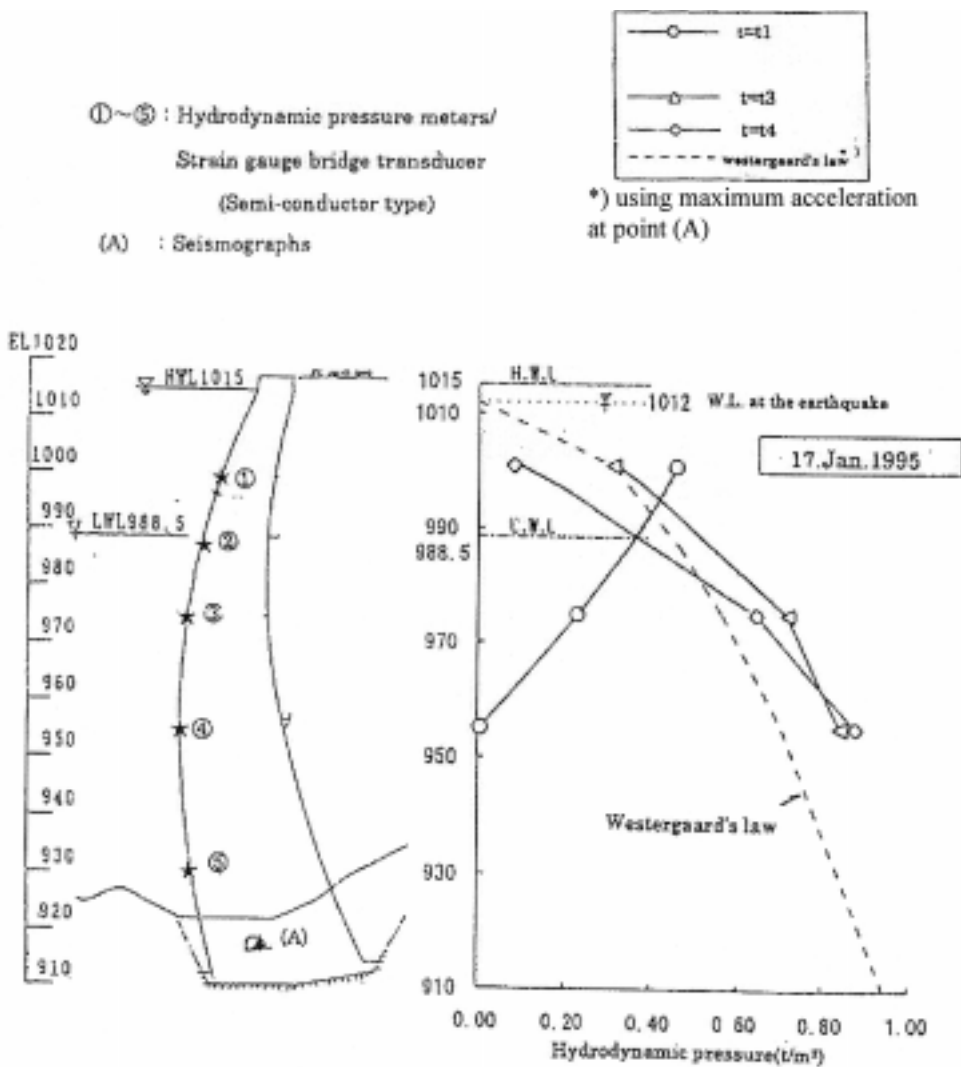


Fig. 2
Distributions of hydrodynamic pressure

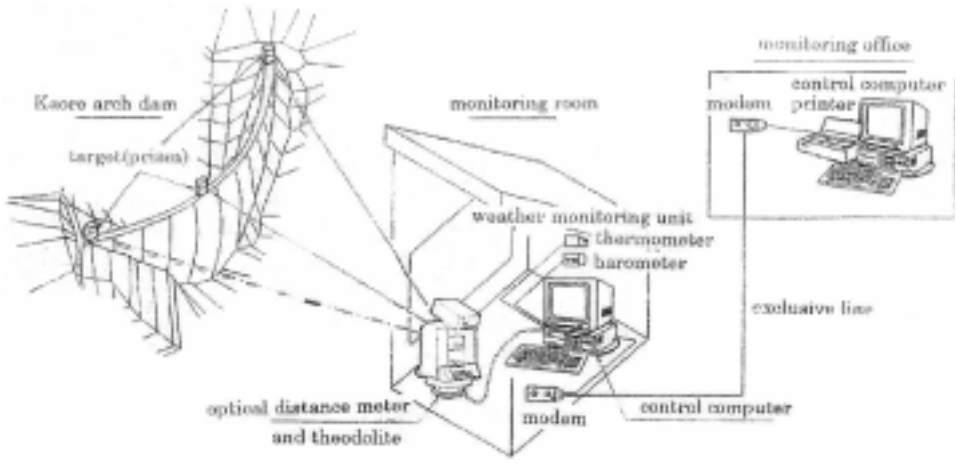


Fig. 3
Outline of external deflection monitoring system

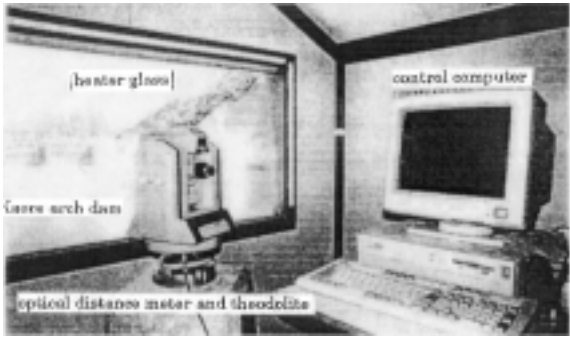


Fig. 4
Inside-view of monitoring room

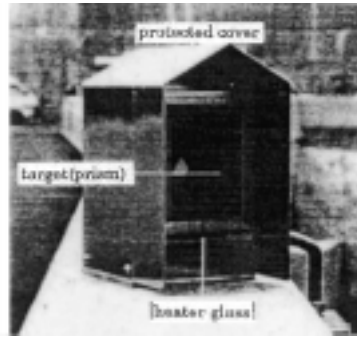


Fig. 5
A reference sighting target on a dam

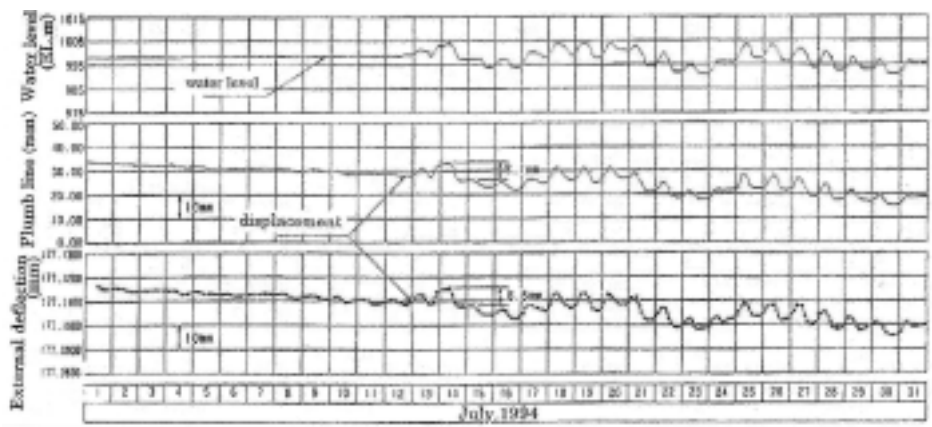


Fig. 6
Behavior of external deflection

7. IMHA DAM (KOREA)

IMHA dam is a 73 m high and 515 m long rockfill dam that was constructed in 1992. The dam is located about 19 km east of Andong, North Kyongsang Province, at the upper part of Nakdong River basin which has a basin area of 23 326 km², second largest in Korea. IMHA Dam was the first dam in Korea to be equipped with an automatic monitoring system. The system suffers from problems of electrical noise interruption during transmission and errors in data transformation from physical signal to digital data. To overcome the above problems, the engineers continue to improve the Data-taker performance in data transformation and consider changing of data transmission system between the field instruments and control office from analogue transmission to digital transmission through modem.

In IMHA Dam, 178 monitoring instruments are installed, and among these, 109 instruments are linked to the PC for automated data monitoring. The type and number of instruments for respective apparatus are shown in Table 1. Generally, the signal flow path is as follows:

PC DT Soil Inst. DT PC

At first, PC sends to a Data-taker, a digital signal (using RS-232C protocol) requesting the sensor value. The Data-taker shoots a pulse which makes the sensor wire to vibrate. The sensor generates Audio Frequency analog signal to the Data-taker. Then, the Data-taker analyses this signal and transmits the signal in the form of RS-232C digital signal. Each sensor has an address and it links with the appropriate output port of Data-taker, which makes it possible to select the specific sensor units the operator needs to monitor.

Table 1
Instruments Installed in IMHA Dam

Instrument	Type	Quantity
1. Pore Pressure Meter : PP	Vibrating Wire	40 EA
2. Earth Pressure Meter : EP	Vibrating Wire	48 EA
3. Inclinator : IC	Force Balance Accelerometer	2 SET
4. Settlement Measurement (for core) : SM	Magnetic Probe	2 SET (24 points)
5. Horizontal Movement gauge : HS	Magnetic Probe	16 UNIT
6. Transverse Horizontal movement : THM	Extensometer Rod	5 UNIT
7. Open Stand Pipe Piezometer : OP	Water Level Meter	7 EA
8. Surface Settlement measuring apparatus : SS	Geodetic Target	35 EA
9. Leak water measuring apparatus	Weir	1 SET

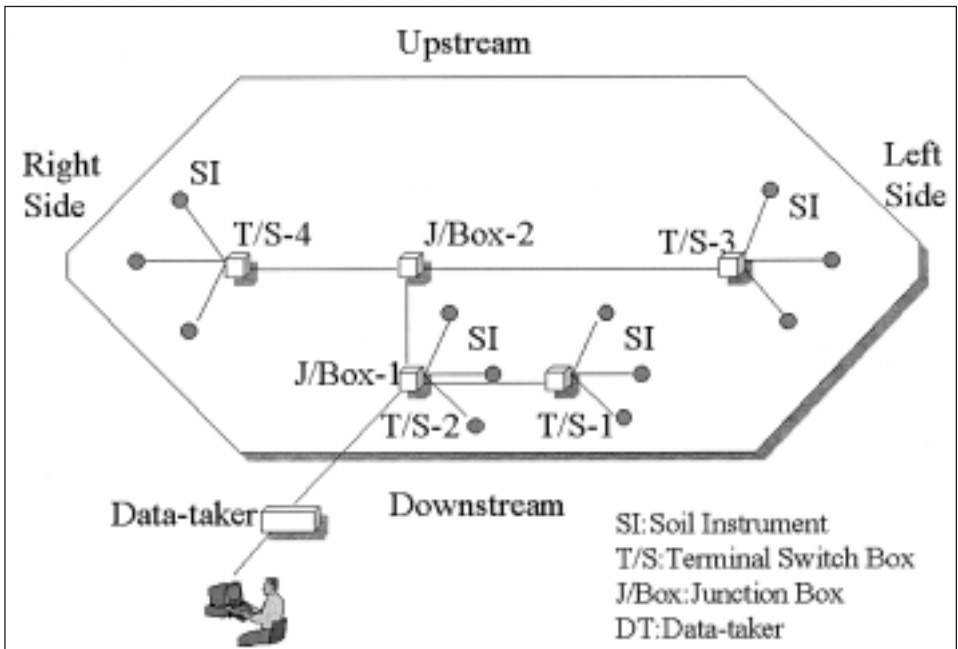


Fig.1
Conceptual Diagram for IMHA Dam Monitoring System

Figure 1 shows the configuration of dam data transmission system.

During the initial stage of the measurement program, that followed soon after the dam was constructed, field testing was carried out for all the instruments. Abnormal performance was found for 19 instruments. Some extensometers indicated fluctuating readings in the multicore cable or could not be read from the end of the multicore cable. Accordingly, attempts were made to establish the cause of the problems. Several possibilities were considered. One possibility was that there could be physical damage in the cable. The possibilities for the fluctuating readings being due to the physical damage were unlikely because readings could not be obtained from the non-conductible instruments. The other possibility was that the cable was picking up external frequencies. This problem could be solved by installing grounding (earthing) wires to the cable screen and terminal boxes. Tests were therefore carried out to establish the continuity of the multicore cable. Tests were also carried out using instruments temporarily attached at the end of the multicore cables in the terminal structures. It was possible to read these instruments from the end of the installed cable. Based on the aforementioned testing, it was considered that the weak signals sent out from the instruments were interrupted by electric noise and distorted through transmission to the computer. As a result of the remedial action, only 4 instruments remain irregular after amplifying the signal power and filtering the high frequency which occurs during amplifying and becomes the cause of oscillation and noise.

When these instruments were connected to the PC, the data values were generally different from those of field testing. To remedy the above problems, the staff has discussed with the system suppliers, the frequency range within which the Data Logger could perceive the signal considering the length of data transmitting line and the degree of noise occurrence, and other possible remedial measures. The first remedial step involves installing the amplifier to the Data-taker. This method could be effective in case the power of the electric signal is weak. But, if this method is not effective because of the field conditions, rearrangement of the Data-taker would be considered. As is well known, the configuration of the automatic monitoring system is mainly classified as the centralized architecture and the distributed architecture. At present, the distributed system takes precedence over the centralized system because of the high effectiveness of the distributed system in data processing. However, the value displayed on the operator's computer monitor could show unexpected abnormality if the Data-taker and Data Logger were located at an inappropriate place. Presently, it is considered most effective to install the Data-taker at the switches terminal, which would enable the physical signal to be transformed to digital signal before suffering the outer interrupting noise during transmission.

8. TARNITA DAM (ROMANIA)

Tarnita Dam, a thin concrete arch structure (Figure 1), was commissioned in 1973. The dam is 97 m high, with a thickness of 4.00 m at the crest level and 11.00 m at the bottom of the central cantilever, and has a volume 115 000 m³ of concrete. It was equipped with a reasonable number of structural behavior monitoring instruments.

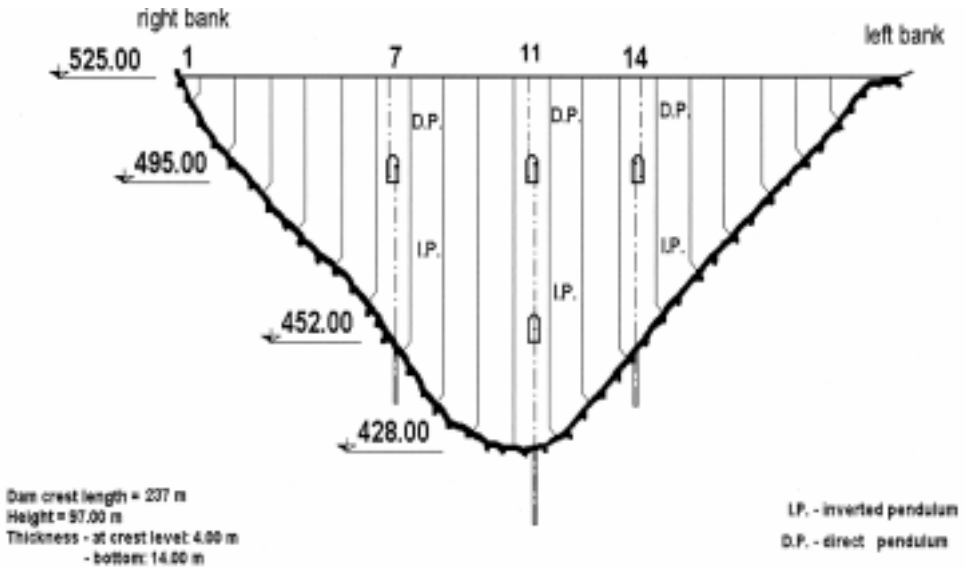


Fig. 1-a
Tarnita dam – Downstream view

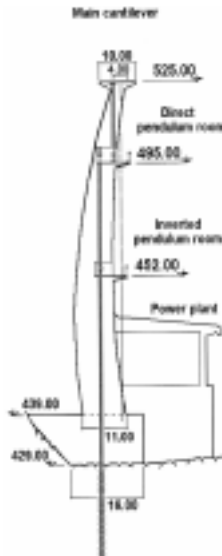


Fig. 1-b
Tarnita dam – Cross section

The dam behavior has been normal as expected, except that after 24 years of operation, the irreversible displacements became large. Being a thin structure, its structural behavior is influenced mainly by thermal loads. It was for this reason that Tarnita Dam was one of the first dams in Romania that was provided with an Automated Data Acquisition System (ADAS) in 1991. Figure 2 shows the configuration of the Automated Monitoring System.

Since 1992, the displacements (movements) of the direct and inverted plumbines (pendulums) are measured automatically at four-hour intervals. Specific deformations and stresses are also measured with about 200 instruments that are still functioning. The automated system also performs measurements of air temperature and water level in the reservoir.

The local computer performs the measurements, the automated whole system permanent check and the automated remote data transmission by phone line to the central network computer, located in the Cluj town in central office (about at 100 km distance). Partial or complete sets of measurements can be ordered either automatically or manually from the central office. Readings of pendulums (plumbines) are still taken manually, together with the automated ones.

The instruments linked to the ADAS system are:

- 3 direct and 3 inverted pendulums,
- 54 telethermometers for concrete and 6 to measure the concrete temperature near the upstream and the downstream faces of the dam,
- 62 extensometers,
- 26 pressure cells,
- 48 instruments to measure the opening of the joints between blocks, and
- 1 teleliminimeter and 2 thermometers for air temperature.

The computer software already installed at the local and central office performs several functions such as :

- a. permanent check of the system,
- b. acquisition and storage of the measured values in a predefined database, and
- c. data analysis, for the following predefined purposes:
 - comparison with “ limit - value ” and signaling malfunction or abnormal values, if any; when an abnormal value is read, the power plant operation team is warned.
 - graphs of the response values from data analysis plotted against time (time-history plots),
 - correlation between some arbitrarily selected values,
 - analysis for “ identical conditions ” with statistical function of the displacements measured at the pendulums and topographically (manual input), with the separation of the effects due to temperature changes, water pressure and irreversible ones,
 - editing reports in predefined format (text, tables and graphs).

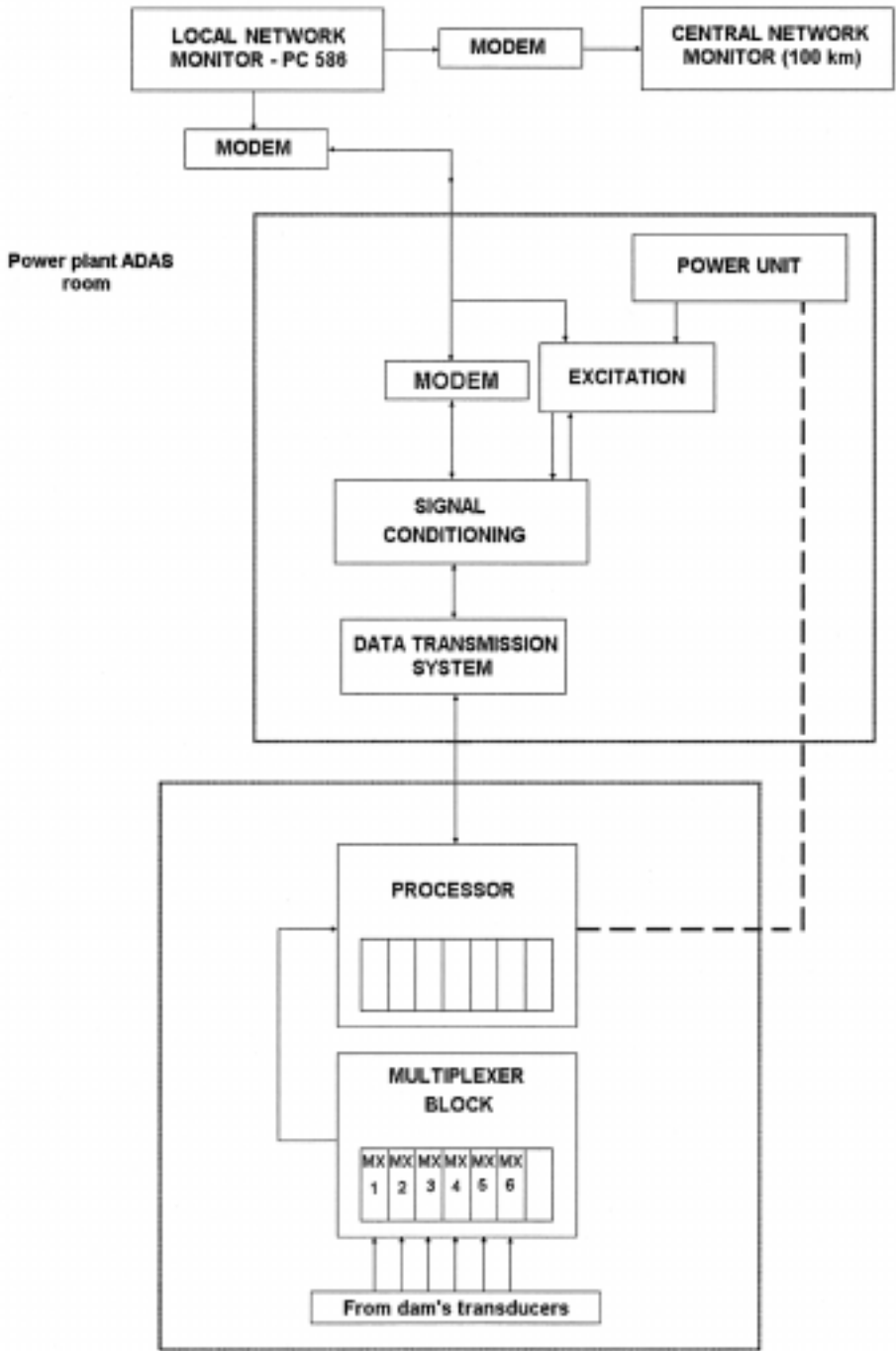


Fig. 2
Tarnita dam – Automated Monitoring System

The graph (Figure 3) shows the annual displacements of the top of block 11, the dam's central cantilever vs. the corresponding total irreversible displacements. The "zero" (reference) value was established before grouting of contraction joints in the dam. An interesting finding is that the daily displacements of the dam, due to daily environmental temperature cycle (sun movement) range from 3 to 4 mm.

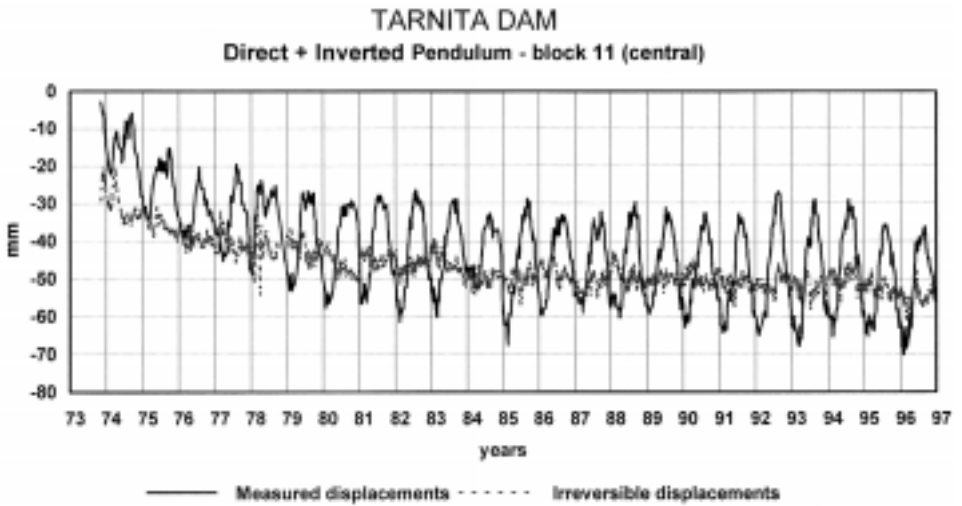


Fig. 3
Block 11 – Top displacements

9. NOK-AMS LAYOUT (SWITZERLAND)

INTRODUCTION

The Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) is a utility producing and distributing electricity to some 2 million inhabitants in the northeastern part of Switzerland. The company runs several hydropower stations with dams, ranging from small compensation basins up to 150 m high arch dams. In the early 1990s, NOK began to implement an automated monitoring system (AMS) starting with a powerplant with four dams. The following description of the system layout shows how the organizational and structural aspects of a company influence the choice of this layout.

ORGANIZATIONAL AND STRUCTURAL CONDITIONS DETERMINING SYSTEM LAYOUT

The following aspects determine the design of the system layout :

- The dams monitored by NOK belong to different power producing companies with different participation of NOK ranging from companies owned and run by NOK solely to companies without financial or organizational connections to NOK.
- Monitoring is done in two steps. Measurements and visual observations are done by local personnel (dam inspection staff). NOK is in charge of the management, as well as safety analyses, reporting and training of personnel (dam safety engineer).
- There are a total of 17 dams under NOK supervision. These dams have very different degrees of automation in their monitoring system. Some dams include fully developed automated data acquisition system (ADAS); some are still monitored manually.
- The dams under NOK-monitoring are located in different regions of the country.

REQUIREMENTS FOR THE AMS

Based on the above listed features, the following requirements have been defined for the system :

- Dams with different degrees of automation must be considered. An instantaneous implementation of an AMS for all dams is not feasible.
- The system must be composed of modules. The implementation of an ADAS in plant A in the year X should not give any restrictions for the implementation of an ADAS in plant B in the year Y.

- Consequently, the data processing and management system (DPS) is a module by itself and is linked to the various ADAS by a flexible interface.
- The system must be “open” in order to ensure the easy addition of a new dam, a new type of data or new kind of analysis.
- Standard software tools should be used. The dependence-programmed software should be reduced to a minimum.

SYSTEM LAYOUT OF NOK-AMS

The finally installed AMS consists of 2 parts (Figure 1):

1. A local automated data acquisition system (ADAS) incorporated into the local powerplant with its dams, run by the local staff and allowing for the automatic monitoring activities on site, such as data reading, quick data analyses, editing and exporting for further, more detailed analyses in the offices of NOK. This system can vary from one plant to the other or be non-existent.

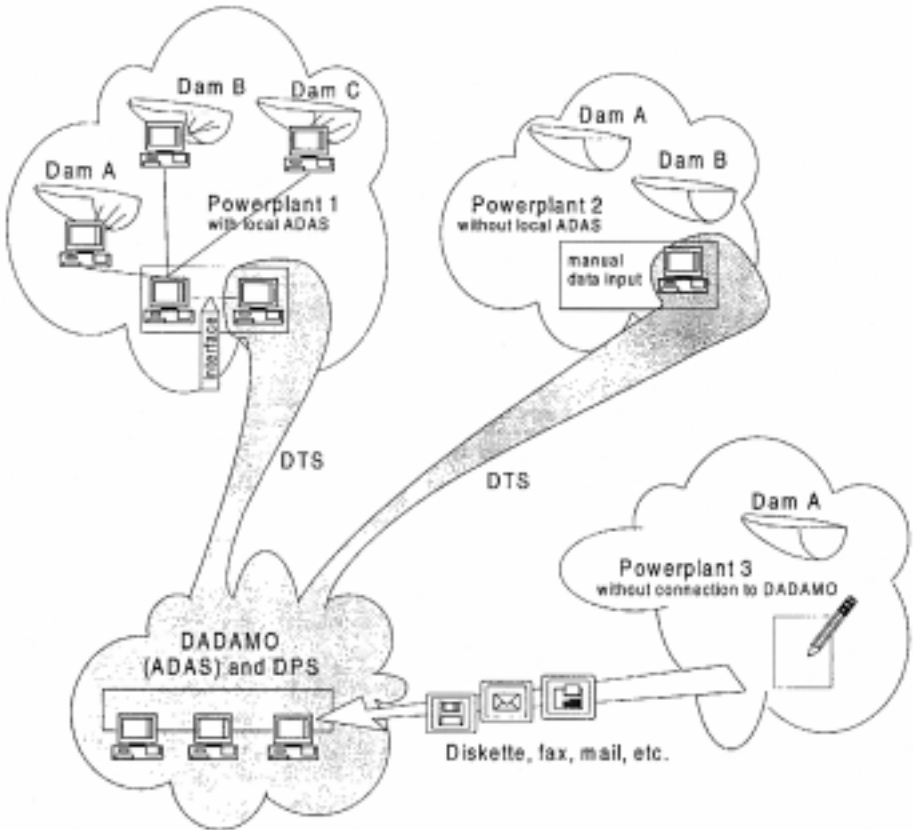


Fig. 1
Possible System Layout of NOK's AMS

2. A data processing and management system (DPS) for the detailed analysis, data presentation, archiving, reporting, etc.

DESCRIPTION OF THE DATA PROCESSING AND MANAGEMENT SYSTEM (DPS)

NOK developed its own data processing and management system software in the early 1990s. This software package, called DADAMO (Data Processing for Dam Monitoring) is part of the monitoring concept of all the hydropower dams run by NOK. The software can be utilized on the level “dam inspection staff” if no local acquisition system is available for the acquisition and primary check of data as well as on the level “ dam safety engineer ” for a detailed data interpretation. This central system is an efficient tool for the acquisition and processing of complex data from dam monitoring. The user can readily assess the loading status of the dam structure and its foundation as well as perform quick and easy comparisons with limiting values. The data handling and saving is done by a relational database. Daily data savings and the distinction of various well-defined user groups with unambiguous data access ensure the high data safety. By now, all dams owned by NOK as well as other major dams of partner companies are connected to the DADAMO System and are profiting from the reliable data control system.

The DADAMO user has access to the following tools :

- Data acquisition, editing and export (measured values and basic data);
- Various representation facilities (tables and graphs) for a quick or detailed data analysis;
- Data output via screen or printer; and
- Determination of limiting values by statistical and deterministic methods.

Data acquisition can be carried out in three different ways:

- The measured data can be transmitted directly from an external data acquisition system on site to the DADAMO in the office. A direct communication exists between the ADAS on site and the home office by means of a DADAMO terminal on site.

- The data is manually fed into the DADAMO System on-site. A direct communication exists between the site and the home office by means of a DADAMO terminal on site.

- A direct communication does not exist between the site and the home office. The data is transmitted by mail as a hardcopy, e-mail, floppy disk or modem line to the home office and fed into the DADAMO System.

Thus, DADAMO can be used in connection with all different standards of information tools used on dam sites. Local on site tools can be changed, developed, updated, etc., without problems of adaptation to DADAMO.

In most graphics, the data can be viewed with respect to pre-determined (statistical or deterministic) values or enveloping curves from previous acquired data.

The following representations are installed :

- Data collection tables with admissible min-max values;
- Summary of all tables;
- Measured values/processed data as a function of time;
- Deformations measured by plumb lines (general view, horizontal projection);
- Uplift pressures within a measuring cross section as a function of time;
- Relationship of any two data sets;
- Position dependent deformations (strain across joints, alignment, geodetic measurements);
- Yearly extreme values;
- Yearly cycles with envelope of extreme values;
- Time plots;
- x/y plots; and
- Drawings and photographs of dam and/or installations.

The available analysis features are continuously extended as need arises.

The DADAMO database can be used in connection with statistical or deterministic programs. This application is used for the comparison of admissible and measured values.

- Statistical Model

The admissible values are calculated with a statistical program based on existing measured data. The current reading is compared with the calculated admissible values. If any reading outside the admissible values is found, an alarm is given.

- Deterministic Model

The admissible values can be determined by a deterministic model (FE-mode). This allows to set admissible values for a combination of parameters outside the so far gained measuring experience.

An extension to further analysis (e.g., heat flux in concrete structure, etc.) is possible.

The actual software release is working in a PC environment (Windows NT). The software tools of DADAMO are: SQLbase (database) SQLWindows (user surface development tool), EXCEL (graphics, calculation).

10. CLARENCE CANNON DAM (U.S.A.) (A Decade of Automated Performance Monitoring)

INTRODUCTION

Clarence Cannon Dam, owned by Corps of Engineers (COE) and located in northeastern Missouri, is a 180 ft high embankment dam with a concrete spillway and hydropower plant. It impounds the 442 000 acre-ft multi-purpose reservoir, Mark Twain Lake. During the construction phases of the dam, four geotechnical concerns surfaced: (i) high uplift pressures in the Hannibal Shale foundation posed the potential for the sliding of concrete spillway monoliths, (ii) excessively wet Phase I embankment material could cause embankment instability due to excessive pore pressures, (iii) potential for hydraulic fracturing existed at the endcore transition between the concrete structure and the embankment, and (iv) large solution cavities encountered during excavation of the left abutment limestone could cause seepage. To enable the COE to access and manage performance data from the dam's four study areas, the COE, with the assistance of a consultant, designed and installed an automated data acquisition system in 1987 which allowed retrofitting of nearly 100 existing instruments and transmission of the data to the COE district office in St. Louis, Missouri. The automation project was accomplished by a team consisting of a federal agency, an Architectural Engineer consultant, and an instrumentation manufacturer. The team's efforts began with the conceptual design and continued through the completed installation as well as the follow-on maintenance.

GEOTECHNICAL NEED AND DESIGN APPROACH

The extent of the automation and the design of the system were justified by a series of studies conducted by the COE and a geotechnical consultant during the construction phase for each of the four study areas. Each of these potential mechanisms of failure was evaluated using deterministic methods. The predicted performance was then compared to design performance criteria developed by the COE. Next, the level of uncertainty in each method of analyses and each set of assumptions was evaluated using probabilistic methods. The above set of analyses provided a thorough understanding of the critical aspects of performance that required monitoring as well as baseline predictions for future comparison of actual measured values. A monitoring system was necessary to consistently acquire data on varying frequencies as the dam encountered the various design conditions.

Subsequent to the above studies and in response to the contract for the ADAS, the consultant conducted a comprehensive review of available state-of-the-art automatic data acquisition systems and electronic sensors and performed a detailed assessment of the instrumentation installed at the dam. This assured the feasibility of retrofitting the existing instruments, selecting only instruments with reliable performance which were in the locations that would produce the critical information needed.

AUTOMATED SYSTEM DESCRIPTION

The topology of the Cannon Dam ADAS (Figure 1) is a controlling Central Network Monitor (CNM) that communicates with a network of seven intelligent Remote Monitoring Units (RMUs). The RMUs collect and reduce data from their respective stations and relay this information to the CNM via UHF radio signals. All data telemetry from the RMUs is by request of the CNM which can be programmed to any data acquisition frequency. The CNM stores the data until contacted by the remote user, normally the COE district office in St. Louis, Missouri.

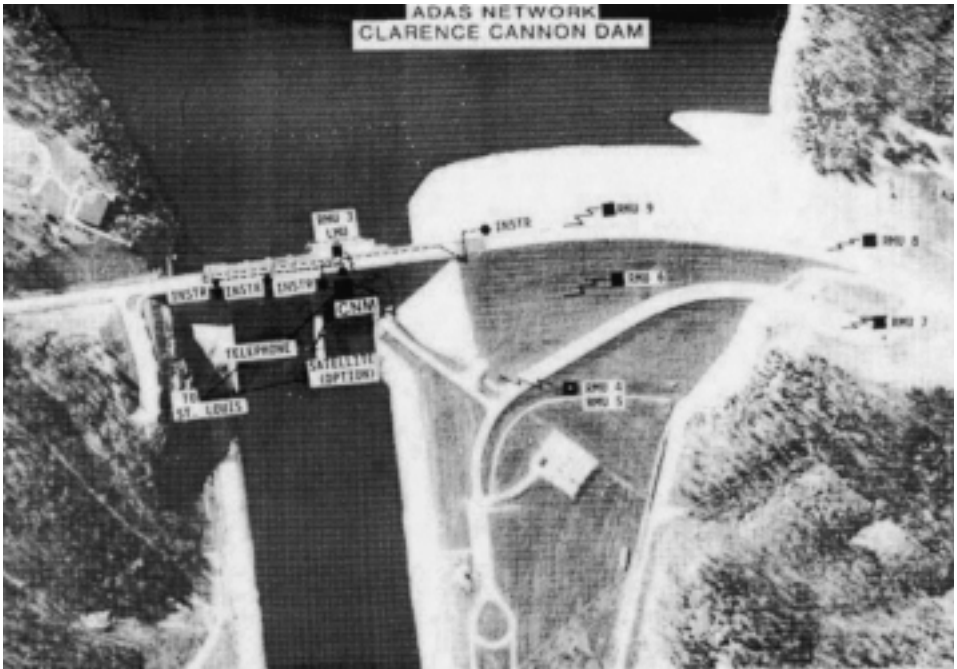


Fig. 1
Clarence Cannon Dam ADAS Network

There are three RMUs located on the main embankment section, one on the left abutment of the dam, two in a terminal well on the downstream face of the dam, and one in the headwater gauge room on the upper level of the powerhouse. The RMUs are housed in environmental enclosures (NEMA 4) and are designed to operate within a temperature range of -40 degrees Celsius (-104 degrees Fahrenheit) to $+55$ degrees Celsius ($+131$ degrees Fahrenheit). Solar recharged batteries power four of the RMUs. The remaining 3 RMUs are powered by batteries that are recharged with alternating current. The instrument types that were automated included: Casagrande open standpipe piezometers, Telemac double coil vibrating wire piezometers, twin-tube hydraulic piezometers, pool and tailwater level gages, Carlson soil stress meter, and plumbines. In addition to the wide variety of instruments involved, the Cannon Dam ADAS was the first application of the

technology to twin-tube hydraulic piezometers and the first installation of automated plumb lines in a COE dam.

The CNM serves as host to remote users of the ADAS. The ADAS communication and data transmission is by telephone through any of several commercially available “ off-the-shelf ” communications packages. The CNM software that controlled data collection, alarms, and had nominal graphics capability was custom developed by a subcontractor to Synergetics International to run on the QNX operating system. QNX was the only multi- user/multi-tasking software at the time. Remote users can dial into the system without interfering with scheduled data collections and other ongoing ADAS operations. The CNM can accommodate transmission of data by satellite and or microwave. Other features of the system include lightning protection, threshold alarms, and remote diagnostics. The data management software was a menu driven relational database based on Informix that was developed by a consultant. This analytical package was specifically designed to manage, store and report large amounts of instrument data and appurtenant information.

CHARACTERISTICS OF OPERATION

Ten years of system performance history provides valuable information. Some problems required some simple adjustments; others were sufficiently complex and expensive to correct that they were removed from operation. Many aspects of the system were proven to be very reliable. Many of the problems that were encountered are attributed to the fact that a large portion of the system was custom developed and there were several first time state-of-the-art applications of the automation technology. The lessons that have been learned have altered the direction of the COE as expressed in the Corps-wide guidance and recommendations for dam safety monitoring.

With respect to the sensors, the Druck transducers used in the well point piezometers and the ABHP transducers installed on the hydraulic lines of the twin tube piezometers performed very well, as did the Endress-Hauser encoders on the pool and tailwater gages. There was difficulty designing the interface for the Telemac double coil vibrating wire piezometers which required variable excitation voltages. Getting consistently reliable information was time consuming and difficult. These Telemac piezometers didn't appear to be durable enough to withstand repetitive operation and the usable life of the instrument was shortened by automation. The interface developed for the Carlson stress meter worked well but the environmental enclosure and the cable leads attracted damaging voltage differentials, similar to lightning, which adversely affected the validity of acquired information. The infra-red plumb line monitors manufactured by JJ&A did not work well due to the condensation in the gallery enclosure that fogged the lenses and consequently produced questionable information. Generally, the sensors were recalibrated on an annual basis and no significant drift was experienced with that level of recalibration.

With respect to control components, the Synergetics dataloggers, computers and Motorola UHF radios performed very well. The NEC personal computer in the

CNM operated flawlessly for 24 hours per day for over 10 years. The batteries were upgraded to 105 ampere-hour and solar panels were enlarged to assure sufficient power through cloudy days.

Radios are the preferred means of communications. The installation of the radio system is cost effective to the cabling alternative, more lightning resistant and virtually trouble free. Recommend data transmission during the day if possible to avoid moisture problems from the early morning dew. Generation of hydropower did not interfere with radio communications or any other functions of the ADAS system.

Lightning was the single most troublesome problem. A direct strike is not necessary to cause damage, only a large ambient voltage differential. Conventional electrical specifications and equipment manufacturers' recommendations for grounding and surge protection are not sufficient to achieve the best protection. Recommend minimizing cabling regardless of shielding, installation, and protection. Earth grounding should be installed at all junctions and daylight points and must be tested to assure less than 35 ohms resistance. All components should be battery powered and every component, including those less obvious such as solar inputs, telephone lines, and the batteries themselves should be surge protected to withstand 5000 amps.

After the initial debugging, all of the software systems worked well for several years. After December 1996, the QNX operating system ceased to operate due to a built in date limitation, requiring updating or replacing the operating system. Prior to December 1996, the developer of the network software program went out of business. Therefore, the network software would have to be rewritten which was prohibitively expensive. The ADAS system is currently being monitored locally instead of remotely until a new operating system and commercially available network software can be installed. The Informix database program has been updated to a Windows based program and has become WinIDP, the COE standard for dam safety data management.

For several years data retrieval and analyses were accomplished for the intended purpose of assessing the 4 identified areas of concern. Sufficient data has been acquired and the satisfactory performance of the dam has been documented during many of the original design load conditions as well as establish the characteristic behavior of the dam and foundation. The increased frequency, accuracy and consistency of data that was afforded by the automation were noteworthy. The remote diagnostics also proved valuable to assess the health and condition of the instruments, batteries, and communications. With the original objectives of the ADAS achieved, the cost of operating and maintaining the system was revisited. Based on that reassessment, portions of the automated system were selectively abandoned, including the plumb line monitors, the soil pressure cell, and some of the Telemac vibrating wire piezometers, which are now read manually on an extended frequency to confirm previous performance. The open system and closed system piezometers remain automated. The resulting instrument system is adequate to continue the long term performance monitoring of the dam and foundation.

The average annual cost of all maintenance performed, including recalibration, software and hardware integration, improvements and upgrades, was approximately

\$ 10 000. The initial cost of the hardware and software installed was approximately \$ 225 000. The operating costs of the system were minimal, limited to electricity and telephone service. The initial cost as well as the annual maintenance cost would be significantly less for non-prototype ADAS systems.

CONCLUSION

The Clarence Cannon Dam ADAS, as well as other automated monitoring systems clearly indicate that the ADAS technology requires that dam safety expertise shift toward computers, communications, and electronics to understand the system operation sufficiently to benefit from the advantages available from automation and to minimize the reliance on outside firms for the diagnostics, troubleshooting and maintenance. To maximize ADAS reliability and cost effectiveness, the complexity and sophistication must be minimized. Automation should be limited to the extent that the advantages that automation has to offer are absolutely required to achieve the intended purpose rather than incorporating sophisticated features only because the technology makes it possible. Systems that are not required for critical information will not receive the level of attention necessary to keep them satisfactorily operating. There is a risk that non-operating ADAS could possibly even prohibit the routine data collection that would have occurred had the ADAS never been installed. Adjustments will be necessary to compensate for the rapid and continuous advancement of the computer industry and the eventual obsolescence of various software and equipment components.

11. DEADWOOD DAM (U.S.A.) EARLY WARNING SYSTEM (USBR)

Deadwood Dam is a thick arch concrete dam located 25 miles southeast of Cascade, Idaho on the Deadwood River. The dam was completed in 1931, and has a structural height of 165 feet, a crest length of 749 feet, and reservoir storage capacity of 162 000 acre-feet that is used for power production, flood control, and irrigation water. Access to the dam is by gravel roads which are impassable during much of the winter. Telephone service is unavailable by wire, and cellular coverage is unreliable at best.

The dam foundation consists of massive Idaho Batholith Granodiorite that has three primary joint sets. Immediately downstream of the left abutment, a major planar discontinuity designated as E7 daylights above the Deadwood River, dipping into the canyon. This feature formed the base of a rock slide in 1965. Significant weathering is evident in this location. Recent realization of the level of dam safety risk associated with possible movement at E7 has caused a high level of dam safety concern and a need to implement a warning system to address short term risks relative to possible loss of life while a long term solution to the issue is studied.

In 1998, installation of an early warning system for the dam was completed. Components of the system include both “ pre-existing ” and new sensors and transmission equipment. Pre-existing equipment includes sensors for monitoring the reservoir level and flows downstream of the dam at a flow gauging station, and an associated data collection platform (DCP). Also pre-existing, and separate from the early warning system activity, were strong motion instrumentation installations that utilize a radio telephone transmission platform. Newly (or recently) installed equipment associated with the early warning system includes: (1) eight in-place inclination sensors installed in two drill holes, (2) a shear strip in each of the two drill holes for the inclination sensors, (3) a five-anchor extensometer installation in an angled drill hole, (4) two separate downstream sensors that trigger in the event of unusually high downstream river water levels (that would be indicative of dam failure), (5) three vibrating-wire piezometers in the left abutment, (6) seven thermocouples installed in the left side of the dam, (7) a new reservoir level gauge, (8) a Campbell Scientific, Inc. model CR10X data logger, and (9) a new DCP utilizing a Sutron Corporation model 8200A data recorder. Except for items (4), (7), and (9), the plan and elevation view locations of this new equipment can be seen on Figure 1. The item (4) and (7) instruments are read directly by the new DCP, while all the other instruments are read by the data logger and then the data is passed on to the DCP. The piezometers and thermocouples are not actually elements of the early warning system, but their data is transmitted on a daily basis along with early warning system data for convenience reasons. Additional thermocouples and a vibrating-wire piezometer have also been recently installed on the right side of the dam that are not associated in any way with the early warning system.

The two independent DCPs have GOES (Geostationary Operation Environmental Satellite) satellite transmitters and operate as part of Reclamation’s Hydromet system for operational monitoring of dams. They are designed and installed such that they could still transmit alarm information even in the event of dam failure. The data logger was employed because the DCPs are unable to monitor

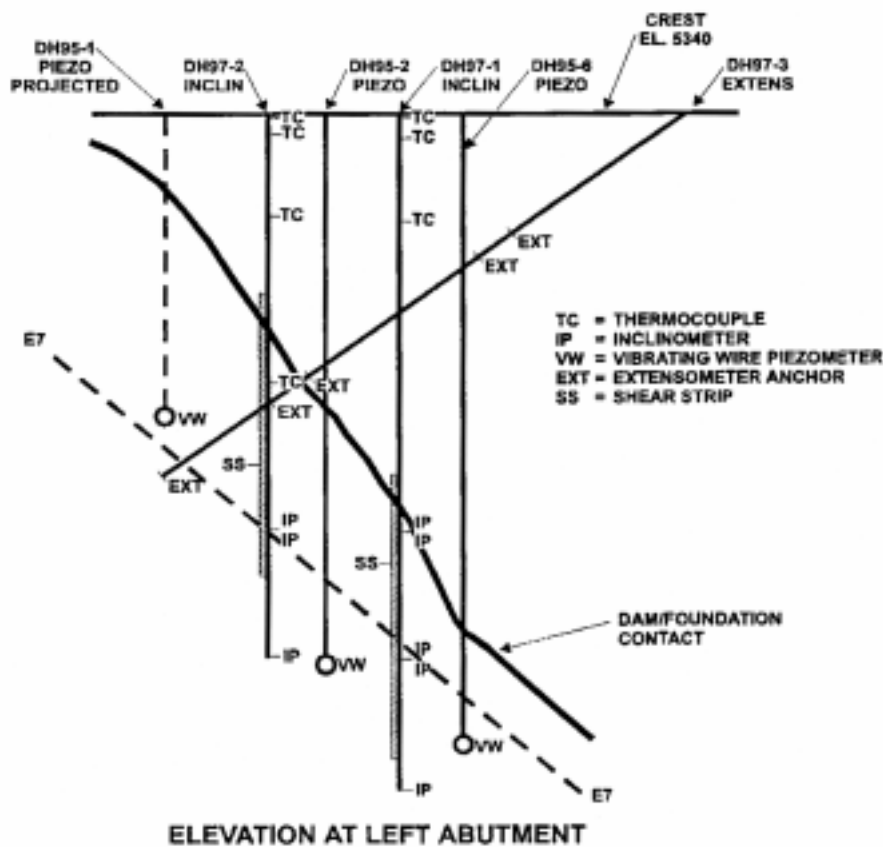
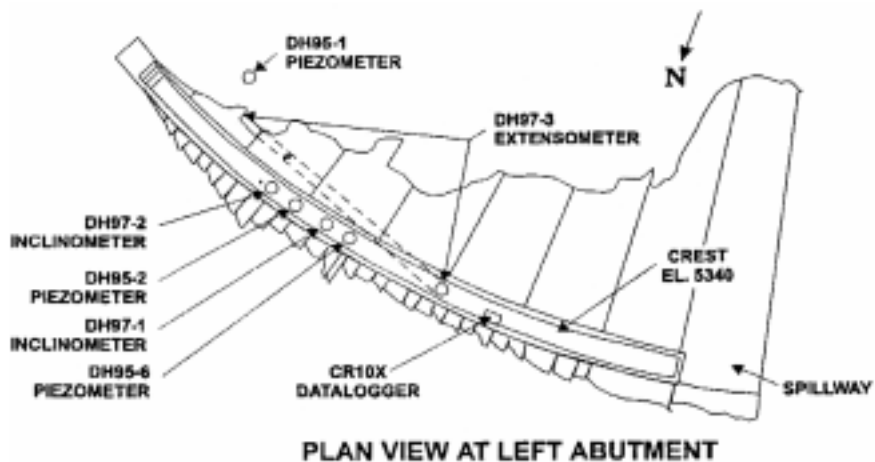


Fig. 1

the type of signal utilized by the vibrating-wire piezometer, inclination, and extensometer transducers. Also, the large quantity of instrument sensors, frequency of measurement, and data processing involved was better suited to be performed by the data logger. The particular data logger model was selected in part because of its energy efficiency and reliability, and because it can pass data to a DCP using the serial-digital (SDI-12) sensor standard devised by the U.S. Geological Survey. The data logger is powered by a rechargeable lead acid battery. Since power consumption is so low, the battery is maintained by the solar panel which was installed as part of the existing DCP. The data logger converts all its readings to engineering units.

All instruments read by the data logger, except the thermocouples, are read twice every fifteen minutes with a delay of one minute between each set of readings. Thermocouples are read once daily because their readings do not provide an indication of possible movement at the discontinuity. The vibrating-wire piezometers are programmed to be monitored every fifteen minutes though they are not considered indicative of possible movement at the discontinuity and are not enabled to trigger an alarm condition at this time. The data logger program instructions were developed to reduce the likelihood of anomalous instrument readings triggering a false alarm. In order to verify that a particular reading is a valid and repeatable value, each data value in the second set of instrument readings is compared to the set obtained one minute earlier. Data from the first set must be within 2 percent of the second set for the data to be considered valid. In the event that actual movements occur within the minute between data sets, the data will still be considered as invalid and the movement would not be detected as a valid reading until the next set of readings fifteen minutes later. Valid readings are then compared with predetermined minimum and maximum alarm values. Only if both data values for a particular instrument exceed the allowable minimum and maximum values and are within 2 percent of each other will that instrument be flagged as an “ out of expected range ” reading.

There are thirteen data values which require daily transmissions from the data logger, and an additional fifteen data values which require both daily transmissions and possible alarm messages. “ Time of reading ” data also must be transmitted. This is too many variables to efficiently transmit from the data logger to the DCP at the frequency desired so it was decided to group the instruments. Four of the groups are for instruments that can give alarm messages. If one or more instruments within a group are flagged as an out of range value, the whole group is transmitted to the DCP as an alarm condition. (The person receiving the alarm would need evaluate the data for the whole group.)

The DCP's data recorder is programmed to receive data from the data logger every three minutes. The data logger is programmed to load data from a group with an alarm condition immediately into a buffer for the next scheduled poll by the data recorder. As soon as the data recorder has polled the data logger and retrieved the group of data, the data logger loads the next group if another alarm condition exists. If no other alarm conditions exist, then an array identifier of zero is loaded into the buffer and the data recorder goes back to sleep until the next poll time. If the data recorder receives data with an array identifier indicating an alarm condition, the data are transmitted immediately to the satellite using a random time slot for this type of situation.

Satellite transmissions are monitored 24 hours a day by Reclamation's Boise, Idaho Office and treated according to an established communication protocol. Alarm conditions can trigger an automated telephone dialer to report the situation. Repetitive alarm conditions can be turned off to prevent repeated dialing attempts since it may take some time to access the data logger to correct the situation or adjust the limits. Alarm condition data as well as routine data can be automatically transmitted via E-mail or LAN to other offices and to Reclamation's computerized instrumentation database in Denver. Data is also available via the Internet. Depending upon the alarm or combination of alarms that might be transmitted, the response could vary from an " Internal Alert " that something unusual has occurred but no threat to life or property exists, to progressively higher " Response Levels " where downstream authorities are contacted and evacuation notices are issued if appropriate.

In implementing a system as complex as this, some problems inevitably will arise. To date, there has been one malfunctioning sensor (that transmitted a succession of alarms). This sensor was replaced, and a programming error that allowed continual transmission of the same alarm message has been rectified. Several other programming glitches also arose during system implementation, which is to be anticipated.

12. SIX DAMS (SPAIN) (APPLICATION OF A SMART DISTRIBUTED MONITORING SYSTEM)

INTRODUCTION

The maintenance program for a group of six dams in the Basin of the Guadalquivir River in Spain, under the jurisdiction of Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, includes a control of the safety of the dams. The evaluation of the safety of these dams is based on the analysis of data recorded by monitoring systems installed at each dam. Old methods of data acquisition that were carried out in a manual or almost-manual manner have been replaced by modern methods based on automatic monitoring systems that obtain data with a higher frequency and with a notable reduction in personnel costs. Consequently, a large part of the time previously dedicated by personnel to dam monitoring tasks can now be used for maintenance activities instead.

The automatic monitoring systems at the six dams are independent and can be controlled from each dam's office. In addition, they have been integrated in a global system that allows remote control from the central office in Sevilla with the use of the national telephone network.

Relevant characteristics of the six dams being monitored automatically are listed in Table 1.

Table 1
Dam Characteristics

Name of Dam	Year of Completion	Type	Height (m)	Length (m)	Volume of Dam (10^3 m^3)	Volume of Reservoir (hm^3)	Spillway Capacity (m^3/s)
Aracena	1969	CB	60	612	315	123	2 000
Huesna	1990	ER	71	278	875	134	536
El Pintado	1948	PG	86	356	354	202	2 000
Peñaflor	1983	PG	20	236	30	3	6 500
Puebla de Cazalla	1994	PG	70	220	212	73	400
Torre del Aguila	1947	TE	42	314	250	66	700

As can be seen in Table 1, the dams differ in type and structural characteristics and include earthfill (TE), rockfill (ER), concrete-buttress (CB), and gravity (PG) dams. Accordingly, these differences have been taken into consideration in the design of the automated monitoring systems to insure that the measurement program includes the parameters needed for a continuous assessment of performance and dam safety for each specific type of dam.

Table 2
Sensors for Automatic Monitoring

Sensors	Aracena	Huesna	El Pintado	Peñaflor	Puebla de Cazalla	Torre del Aguila	TOTAL
Plumbines	2	0	3	0	1	0	6
Piezometers	6	7	6	0	23	15	57
Total Pressure Cells	0	16	0	0	0	0	16
Concrete Extensometers	0	4	0	0	2	0	6
Soil Extensometers	0	7	0	0	0	0	7
Rod-type Extensometers	0	9	0	0	0	0	9
Concrete Thermometers.	0	0	0	0	14	0	14
Joint Meters	0	0	0	0	0	9	9
Weirs	4	2	3	0	5	1	15
Meteorological Variables	8	8	8	2	2	8	36
Water Level Measurement	1	1	1	1	1	1	6
TOTAL	21	54	21	3	48	34	181

The type and number of sensors included in the monitoring program at each dam are summarized in Table 2.

AUTOMATIC MONITORING SYSTEM

As can be seen in Table 2, there is a large variation in the number as well as in the type of sensors for control of each dam, with a total of 181 sensors to be read by the automatic monitoring systems.

The automatic monitoring system at each dam consists of a local distributed network of OFITECO supplied Smart Transducers (Model TI'95), connected by metallic pairs and using RS-232 interface for short distances and RS-422 for long distances.

At two dams, because of the long distance and steepness of the terrain between the dam and the Control Center for the work, digital radio links have been used to connect these points. At two other dams, also with long distances but with less steep terrain, the communication links have been made with fiber optics cables.

The hardware that has made possible the installation of the Smart Distributed Control System (SDCS) is the Smart Transducers Model TI'95 (Figure 2) from OFITECO which has the following main characteristics :

- They are based on a “ single-chip ” microcontroller that integrates all the inherent functions of a small and totally autonomous Data Acquisition System.
- Integrate all the required hardware for signal conditioning of the associated sensor.

- They have sufficient intelligence to :
 - Convert the signal from the sensor to corresponding engineering units.
 - Make non-linear conversions of the readings.
 - Obtain calculated variables using measurements from one or more sensors.
 - Compute maximum, minimum, and average values.
 - Administrate the data recording process.
 - Indicate alarm triggers by maximum or minimum increments.
 - Change the operation mode depending on the state of the alarms.
 - Allow networking communications with other computer devices.
- One channel for RS-422 communications and another one for RS-232 are included.
 - Embedded non-volatile memory for data recording and configuration parameters.
 - Supplied with hardware, non-volatile, clock/calendar.
 - Automatic self-test functions included in the firmware.

The TI 95 Smart Transducer can accept one to four channels of sensors input signals. They are installed as close as possible to the sensors, generally in galleries. In the case of inaccessible sensors, for example piezometers installed in the foundations of the dam or in the embankment of an earth dam, the Smart Transducer is located close to the sensor cables terminations. Finally, the Transducers are interconnected to form a local network with a ring topology that consists of a copper pair, a fiber optics cable or a digital radio link.

This use of a distributed network has resulted in enormous savings in costs due not only to the considerable reduction in signal cables but, also, to the optimization of the investment in equipment by the optimal adjustment of the dimension of the system to the requirements of each dam. This can be done thanks to the high degree of modularity that characterizes a distributed system.

At the end of the communications lines at every dam, there is a PC with a communications software called GESRETI that was supplied by the company OFITECO and, a “ Modem ” connected to the telephone line for a remote access to the network. The systems operator must use this software for taking readings or for configuration and uploading of data from the network of Smart Transducers. As an illustrative example, the scheme of the network at Pintado dam is shown in Figure 3. With the use of a “ modem ”, it is possible to access any of the local networks (dams) from any place (usually from the central office in Sevilla) and operate it in the same way as can be done directly at the dam site (Figure 1).

SYSTEM MANAGEMENT

Each of the automatic monitoring systems at the dams stores the data from the associated sensors, with programmed frequencies that range from one reading every hour, in the case of reservoir water level, to one reading daily in the case of

piezometers, plumbines, etc. Furthermore, quasi-real-time data can be shown through the Graphic User Interface (GUI) supplied by the GESRETI software; a period of one minute is used for the data updating of any sensor.

Data uploading from the dams to the computer of the Central Office is performed once a week. After a validation process, the measurement data are processed by a computer program called DAMDATA (for Dam Monitoring Data Analysis and Management) that manages and maintains the historic database.

Every three months, a complete report covering the behavior of the dams is published. This report includes the numeric, graphical and statistical information generated by the special program DAMDATA supplied by OFITECO and AUSMODEL (for Dam Behavior Modeling).

Finally, a human team dedicated to the maintenance of the Dams Monitoring Systems complements the operation of the system. These personnel attend to the routine preventive maintenance of the monitoring equipment based on the planning and schedules established by the Central Office. They also carry out corrective maintenance in cases of an equipment failure or when operational errors are encountered.

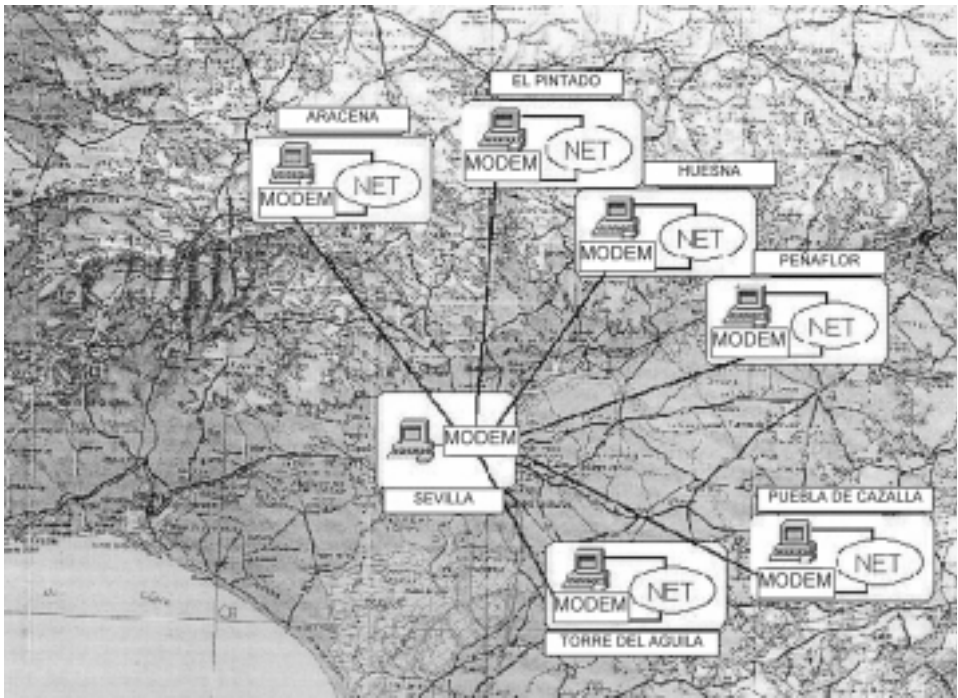
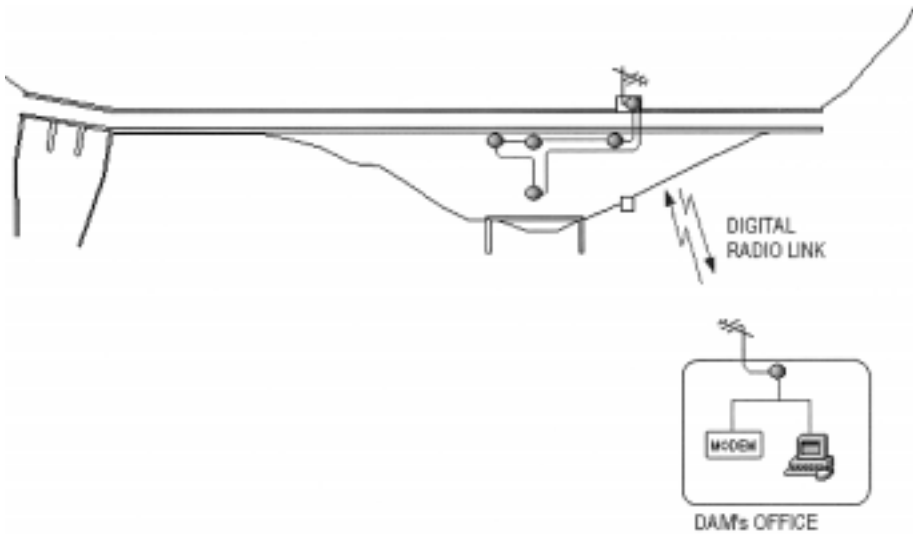


Fig. 1
Dams of the Distributed Control System with Sevilla's Control Center



Fig. 2
Smart Transducer



● *Node of the Distributed Control Network*

Fig. 3
Scheme of the Network of Pintado Dam

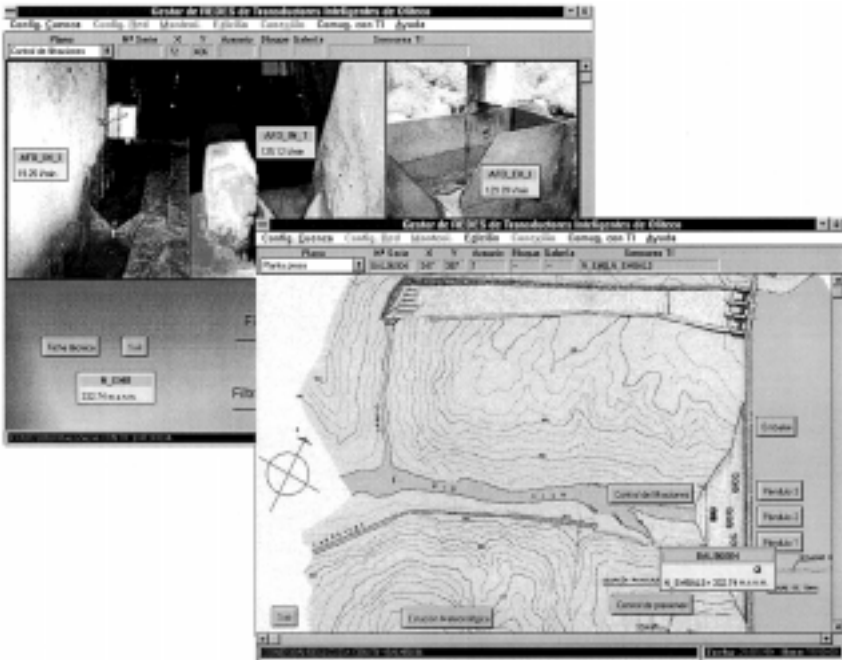


Fig. 4
Real Time Screens of GESRETI Software

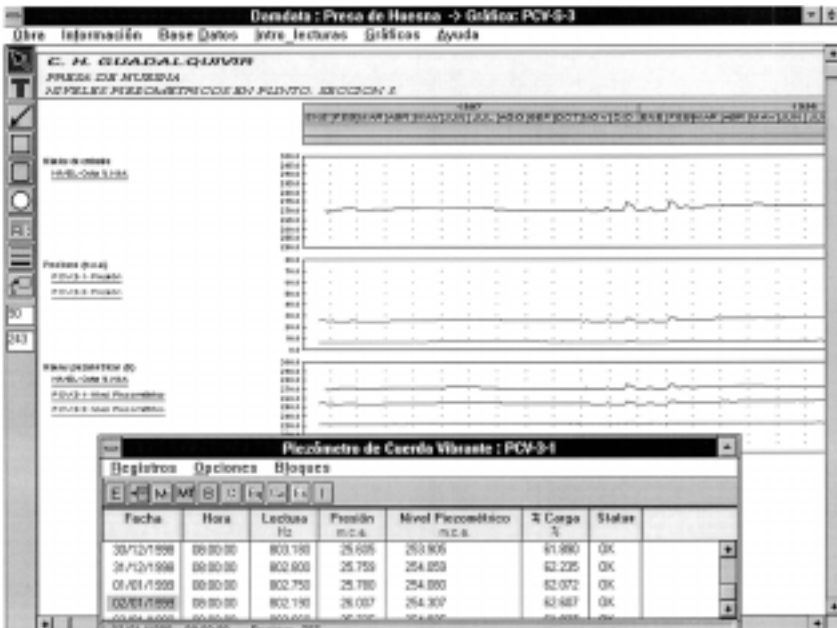


Fig. 5
One Screen of the Data Management Software (DAMDATA)

Imprimerie de Montligeon
61400 La Chapelle Montligeon
Dépôt légal : Janvier 2001
N° 20118
ISSN 0534-8293

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne  *Computerized Archives on line*

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



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