

CANADIAN ADVISORY COMMITTEE ON ROCK MECHANICS

Report of the Sub-Committee

on

RESEARCH REQUIREMENTS FOR ROCK FOUNDATIONS

by

B. Ladanyi, Chairman  
R. Dufour

G. S. Larocque  
L. Samson

May, 1970

PREFACE

In December 1968, following a suggestion from the Associate Committee on Geotechnical Research, the Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics appointed a Subcommittee on Foundations "to review this area and recommend needed research".

The new Subcommittee, which was composed of the following four members:

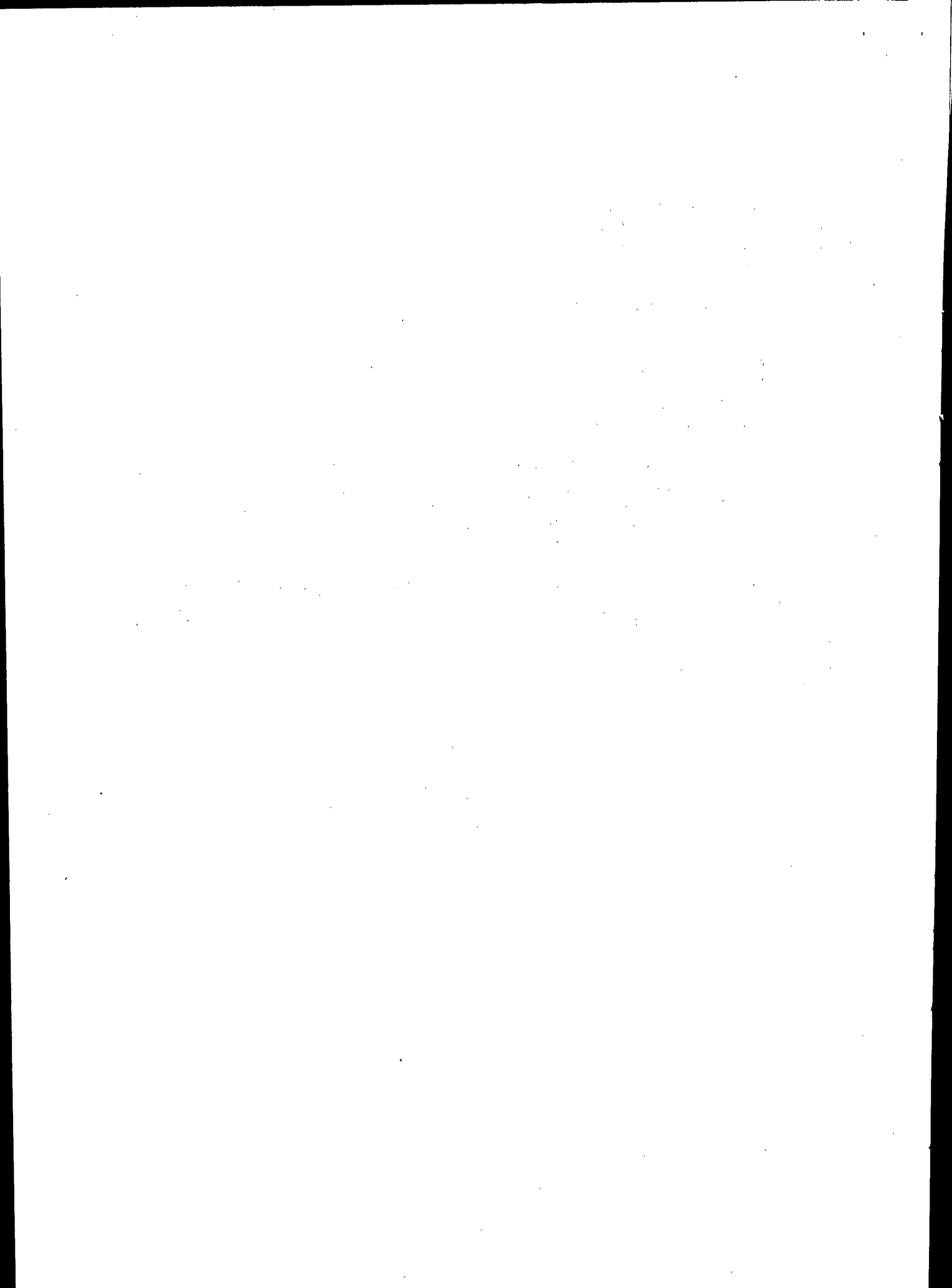
René Dufour (Ecole Polytechnique, Montreal)  
Branko Ladanyi (Ecole Polytechnique, Montreal)  
Guy S. Larocque (Hydro-Québec, Montreal)  
Laval Samson (Terratech Ltée, Montreal)

held a number of meetings in Montreal during the first half of 1969. After establishing the scope of the problem and the working programme of the Subcommittee, it was decided that, as a main source of information, a questionnaire covering main points of the subject be prepared and circulated to all registered rock and soil mechanics workers in Canada.

This report uses largely the data received through this questionnaire, and sums up, therefore, the ideas and opinions of many geotechnical workers in Canada. It is hoped that it will provide a basis for further discussion and evaluation of research needs in the field of foundations on rock.

Branko Ladanyi,  
Chairman,  
Subcommittee on  
Foundations of the  
CACRM

Montreal  
May 1970



## CONTENTS

	<u>Page</u>
PREFACE.....	i
I. INTRODUCTION.....	1
II. SUGGESTIONS CONCERNING ACTUAL RESEARCH NEEDS.....	3
1. Deformation and stability problems.....	3
2. Rock reinforcement problems.....	3
3. Seepage and uplift control problems.....	4
4. General topics related to rock foundation design problems...	4
III. SUGGESTIONS FOR AN EVENTUAL MODIFICATION OF CERTAIN ARTICLES IN THE NATIONAL BUILDING CODE OF CANADA CONCERNING ROCK FOUNDATIONS.....	6
IV. INTERESTING FIELD WORKS REALIZED OR UNDER WAY.....	9
V. INTERNAL REPORTS.....	11
Department of Public Works, Testing Lab., Ottawa.....	11
Department of Transport, Ottawa.....	11
L. Lachance (A.B.B.D.L.), Montreal.....	11
Terratech Ltée, Montreal.....	12
Wm. Trow Assoc. (Hamilton) Ltd.....	12
VI. ACTIVE GRADUATE THESIS WORK OR RESEARCH UNDER WAY.....	13
VII. PUBLICATIONS.....	14
VIII. LIAISON WITH ASTM COMMITTEE D-18, SUBCOMMITTEE 12 (ROCK MECHANICS).....	19
IX. RECOMMENDATIONS.....	21
X. ACKNOWLEDGEMENTS.....	22
Individuals.....	22
Research Groups and Organizations.....	24
APPENDIX - Samples of Questionnaire and Accompanying Letter.....	25-26

## I. INTRODUCTION

At its first meeting, in February 1969 in Montreal, the Subcommittee took as its first task to establish clearly the scope of its future work and the main working lines.

As far as the scope of the work is concerned, it was considered that the subject should cover the following two groups of foundations on rock:

Foundations of large dams, and  
Shallow and deep structural foundations,  
both in civil and mining engineering applications.

The type of problems normally encountered in design of foundations on rock may be classified as:

- (1) Deformation and stability problems (settlements of foundations, movement of dam abutments, bearing capacity of foundations, stability of open cuts)
- (2) Reinforcement problems (anchoring, bolting, grouting)
- (3) Seepage and uplift control problems.

In practice, in order to be able to make a successful design of foundation on rock, similarly as in any other engineering design, one has to follow a certain programme which involves normally:

Obtaining relevant field data on material behaviour (deformation and strength properties of rock and rock mass; joint survey, hydrostatic and seepage pressure in the joints, rock weathering conditions)

Selecting a convenient method of solution (theoretical analysis, model tests, numerical simulation)

Selecting a technically and economically optimal method of execution

Observing the behaviour of finished structure (in-situ long-term observation of movements of structure, variations of hydrostatic pressure in the foundations, ....)

As is obvious from the above list, although the subject of foundations on rock represents only a narrow field within the general context of rock mechanics, it is nevertheless a fairly large subject, particularly in view of the wide variety of problems associated with the design and construction of rock foundations.

In order to perform its task, which was "to review this area and recommend needed research with the object of improving the design criteria", the Subcommittee considered that one or both of the following two lines of work might be adopted:

- (1) To prepare a state-of-the-art report on the subject that would be based on a selection of relevant references to date, from which a list of research needs at an international scale would follow as a conclusion.
- (2) To prepare a review of Canadian contributions in this field to date, together with a list of problems that may be of most immediate interest to practising engineers in this country.

It was considered that either of the two types of report would make a useful contribution. However, taking into account the relatively short time interval available for this Report, as well as considering that the knowledge of the Canadian aspect of the problem may be of primary interest, it was decided to limit this first report to Canadian context only. Consequently, the Subcommittee has taken as its first task:

- to accumulate data on typical rock foundation problems encountered in Canadian practice;
- to make a review of problems, the solution of which would be most interesting in practice;
- to make a bibliography of publications on rock foundations problems written by Canadian authors, and/or on rock foundation problems encountered in Canadian practice.

In order to be able to get information necessary for fulfilling this task, the Subcommittee considered that a nation-wide enquiry would be a most useful method. Consequently, a questionnaire was prepared in both English and French, and sent with an accompanying letter to the members of the Canadian Rock Mechanics Study Group and to the Canadian Section of the International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Copies of the letter and the questionnaire circulated are shown in the Appendix of this report.

From about 500 questionnaires mailed, only about 50 positive answers have been received. Nevertheless, from the received answers, it was possible to obtain a fairly good picture of the actual state of research and activities in the area of rock foundations in Canada. The main results of this enquiry, with some comments, are shown in the following pages.

## II. SUGGESTIONS CONCERNING ACTUAL RESEARCH NEEDS

Note: In the following list, the suggested research topics have been grouped according to their subjects. The text has been reproduced as closely as possible to the original one given in the questionnaire.

### 1. Deformation and stability problems

#### 1.1 End-bearing piles and drilled-in caissons

- Improvement of rock-testing methods (laboratory and in situ) necessary for supplying information on rock and rockmass strength for bearing-capacity determination, with special reference to the scale effect and the presence of geological discontinuities.
- Analysis of current design procedures.
- Effect of depth of embedment on end-bearing capacity.
- Proper determination of side friction.
- Effect of creep on load transfer.
- Effect of "mud seams" in limestone on bearing capacity.
- Design of end-bearing piles and drilled-in caissons in fractured or soft, friable bedrock.

#### 1.2 Rock excavations and slopes

- Design approach for stabilizing natural rock slopes and open cuts.
- Use of actual behaviour of rock mass in the analysis of stability of slopes.
- Further investigation into the stability of Dufferin Terrace in Quebec City by considering the hazard of landslide as a function of seasonal changes.

### 2. Rock reinforcement problems

Design methods for post-tensioned prestressed soil and rock applications.  
Losses of prestress. Corrosion of tendons, underground protection.

Factors of safety. Modes of failure for post-tensioned prestressed tie-backs and rock anchors.

Economic study of post-tensioned rock anchors vs socketed caissons and gravity solutions.

Method for defining bond strength between rock and concrete of an anchor located in soft rock.

### 3. Seepage and uplift control problems

Correlation between geology and permeability of rock mass for the purpose of rationalizing drainage and impermeabilization of foundations in rock.

Development of engineering parameters relative to the use of rock bolts in tying concrete foundations and/or column bases to rock, in particular where uplift forces have to be counteracted.

Methods for determining in-situ rock permeability and subsequently accurately estimating potential seepage, grout requirements, drainage requirements, etc.

Methods of measuring effectiveness of grout curtains in rock.

Predicting groutability of rock.

### 4. General topics related to rock foundation design problems

Site investigation methods.

Statistical principles applied to sampling geologic structures. Correlation of statistical description of geologic structures with rock failure.

Standard method or system of bedrock description and classification.

Methods to determine fracture patterns, joint systems, etc., of rock in-situ and their effects on strength of rock mass.

Methods of exploration other than coring, such as the use of geophysical methods for down-the-hole logging in bore holes (E-log).

Improved rock-coring methods for obtaining excellent recovery are needed. Actually it is often impossible to recover the weak rock zones which, from a practical standpoint, are most interesting to analyze.

Improved techniques for mapping joints.

Deformation characteristics of rock masses.

Define a correlation, or a method for obtaining the correlation, between the deformation modulus  $E$  of rock specimens and the deformation modulus in situ.

Physical and mechanical properties of rock masses.

Strength, deformability and weathering of rock masses.

Relation between laboratory and in-situ tests. Scale effect.

Need for in-situ large-scale testing. Laboratory specimens normally give "optimistic" data as they do not contain defects that affect response of rock mass.



Research should be concentrated on the measurements of the mechanical properties of rock in-situ. This is suggested because, at present, analytical techniques are far ahead of the information needed in them.

Assigning strength parameters to jointed rock by in-situ testing.

Mechanism of failure of in-situ rock. Parameters of rock mass strength.

The ratio between vertical and horizontal strength of rock masses, including the influence of weaknesses such as bedding planes, joints, etc.

A study of actual inter- and intragranular strain and deformation in rocks and their relation to rock deformation and strength.

Stress-strain relationship of different rocks at low stress levels, and the effect of moisture on such relationship.

Definition of conditions leading to rock alteration process as applied to shale, and measurement of forces involved.

Behaviour of soft sandstone aggregates under static and repetitive loading.

Establishing a classification system for fine-grained sedimentary rock.

Devise a practical procedure to evaluate the degree of fissuring with significant properties, e.g. elasticity, on a practical basis.

Shear strength of clay shales.

Convenient and reasonable accurate measurement of in-situ rock stress in drill holes 100 to 1000 ft deep.

Excavation methods.

Blasting control and regulations. Measure of effects.

III. SUGGESTIONS FOR AN EVENTUAL MODIFICATION OF CERTAIN ARTICLES  
IN THE NATIONAL BUILDING CODE OF CANADA CONCERNING ROCK FOUNDATIONS

Note: In addition to the suggestions received as the answers to the enquiry, this chapter contains also a copy of the letter received from Mr. K.N. Burn, Research Adviser to the Subcommittee on Section 4.2 Foundations of the National Building Code. The letter clarifies some important points concerning the actual (1970) and the forthcoming (1975) edition of the Code. The following suggestions are given in exact wording as supplied in the answers to the questionnaire.

- There should be some write-up on what are reasonable limits of legal responsibility for potential landslide hazard.

- It is likely that rock masses are considerably stronger than we assume in quoting allowable bearing pressures in the code for foundations of low-rise buildings on rock. Further research should be done to enable use of higher values, taking into account the various patterns of flaws which can exist in rock. For example, a series of factors may be used to modify a basic bearing-capacity value which would apply for sound rock of a given type containing no flaws. This basic value could be related to available statistical data pertaining to crushing strength or some other suitable type of strength parameter. The correction factors could take into account such things as thickness and dip of beds, fracturing, spacing and orientation of joints, etc. Of course, for one to use this method the type and appearance of the bedrock mass must be known. In many cases this would require test borings and/or test pits.

It is also believed that higher allowable end-bearing capacities could be used for piles driven to (or socketed into) bedrock than for footings on rock. For example, Swedish practice is apparently to use rock-crushing strength with a relatively low safety factor in the design of the cylindrical steel "rock points" commonly employed.

- The Code should take into account the type of rock when determining the bearing capacity of footings, caissons, piles, etc.

- Factors of safety and permissible bearing pressures on rock foundations.

- Eventual building code modification is inevitable, but can only be achieved as a result of intensive coordinated research, hopefully as a combined effort between qualified consultants and university engineering departments, coordinated, where possible, through the local soil group.

- It would be desirable for the Code to give the values of allowable bearing pressure for rock also for buildings higher than two storeys; the values actually quoted in the Code apply only to buildings having no more than two storeys.

It would be equally desirable that the allowable bearing pressure be expressed as a function of (1) rock properties (compressive strength, deformation modulus or others) and rock mass properties (frequency and orientation of joints, weak layers, etc.); (2) footing size; and (3) settlement sensitivity of the structure.



CABLE ADDRESS "RESEARCH"  
 ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE M43-4-1  
 PLEASE QUOTE FILE NO M4-B6-S4-2  
 NO DE DOSSIER À RAPPELER

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA  
 CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

DIVISION OF BUILDING RESEARCH  
 DIVISION DES RECHERCHES EN BATIMENT

OTTAWA 7.

12 May 1969

Professor B. Ladanyi,  
 Chairman, Subcommittee: 'Rock Foundations' of the C.A.C.R.M.,  
 Department of Mining Engineering,  
 Ecole Polytechnique,  
 C.P. 501, Snowdon,  
 MONTREAL 248, Quebec.

Dear Branko,

I was interested to note that you have included item E in the Questionnaire on Foundations in Rock that you have recently circulated on behalf of the newly formed Subcommittee on Rock Foundations. As Research Adviser to the Subcommittee on Section 4.2 Foundations of the National Building Code, I offer the following comments:

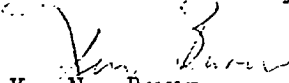
The next edition of the Code will appear early next year and, at the present time, all of the Committees have completed their deliberations and have final drafts ready for the editor. Each draft has, at an earlier stage, been available for public comment and these final drafts reflect those points that the Committees considered pertinent and valid.

The Revision Committee for 4.2 Foundations had, from the outset, recognized certain deficiencies and subsequently made significant changes on the articles on rock to which you allude in the Questionnaire. In case you are not aware of these new articles, a copy of the revised section is enclosed.

Members of another Committee will, in the near future, be appointed and charged with the responsibility of reviewing and revising Section 4.2 in this edition for 1975. I am sure that they will be pleased to consider any matters that your Subcommittee feels it should bring to their attention.

With best regards,

Yours sincerely,

  
 K. N. Burn,  
 Geotechnical Section.

KNB/ERM  
 Enclosure

69-SM-278

#### IV. INTERESTING FIELD WORKS REALIZED OR UNDER WAY

##### A.B.B.D.L. Montreal

Studies of underground works for the Manicouagan 3 Project (Hydro Quebec) and a project in Mali, Guinea.

##### Dept. of Public Works of Canada, Testing Lab.

- (1) A study is presently under way of a building in Ottawa founded on black shale. The centre part of this building is heaving due to a complex physico-chemical reaction in the bedrock. A paper is presently being prepared in collaboration with Dr. R.M. Quigley of the University of Western Ontario.
- (2) A subsurface investigation is presently under way for a high-rise government office building in Ottawa. It will have spread footings founded on limestone bedrock intersected by a fault zone. The rock contains some thin porous zones, the strengths of which were investigated.

##### Div. of Building Res., NRC

Investigation of buildings founded on Billings Shale formation which heaved  $3\frac{1}{2}$ " in 3 years due to alteration within shale. Some evidence to indicate there are more cases in Ottawa Region. Short description: "Swelling Shale".

##### Nova Scotia Tech. College

Field tests on bearing capacity of sandstone.

##### The Shawinigan Eng. Co.

Foundations of Tracy Generating Station, 250' weak silts and clay, floating foundation. Minimal settlement. End bearing in shale bedrock discarded due to nature of rock and overburden.

##### P.F.R.A. Soil Mechanics and Materials Division of P.F.R.A. in Saskatoon, Sask.

Over the years P.F.R.A. has carried out investigations, laboratory and field testing, design studies and prepared cost estimates for a large number of damsites in the four western provinces. A large number of these dams have been constructed, such as the Gardiner Dam, Waterton Dam, St. Mary's Dam, Boundary Dam, Shellmouth Dam, Penticton Dam, etc. At most of the damsites investigated the bedrock consists of soft sedimentary bedrock of cretaceous age including such geological formations as the Bearpaw, Edmonton, Belly River, St. Mary, Oldman, Paskapoo, Ravenscrag, etc. Most of our detailed investigations have dealt with clay-shales.

Field work - mostly standard investigational techniques have been employed. This includes studies of coring and coring techniques and in-situ permeability testing.

P.F.R.A., Regina

Foundation studies at South Saskatchewan River Dam with respect to Bearpaw Shale - soft overconsolidated clay shale.

Section Mécanique des Roches, Ecole Polytechnique

Field tests for determining the effect of embedment on bearing capacity of rock.

Conenco Int. Ltd.ROCK-TIE EXPERIENCE OF CONENCO CANADA (1968) LIMITED

Project	Project Value Million \$	Location	Completion Date	Description
Mica Creek	50	B.C.	1969	Rock ties
Hilton Mines	1	Que.	1968	Rock ties (100 ft long)
Shaw & Begg	1/2	Toronto, Ont.	1968	Soil ties
Whitemud Bridge	1	Edmonton, Alta.	1968	Tension piles
King St. East	1/2	Toronto, Ont.	1968	Rock ties
C.N.		Oshawa, Ont.	1968	Soil anchors
Trent University Bridge	1/4	Peterborough, Ont.	1968	Rock ties
Stewartville Dam	2	Ont.	1967	60 ft. submerged ties
Parkway Bridges	1	Ottawa, Ont.	1967	Rock ties
Toronto-Dominion Centre		Toronto, Ont.	1966 1967	Rock ties Anchor ties
Red River	10	Manitoba	1966	Rock ties
C.N. Turcotte Yard	3	Montreal, Que.	1966	Soil anchors
Simpson's Tower	15	Toronto, Ont.	1966	Anchor ties
Holiday Inn	2	Montreal, Que.	1966	Anchor ties
Nuclear Station	105	Pickering, Ont.	1966	Anchor ties
Place Ville Marie	80	Montreal, Que.	1965	Anchor ties
Place du Canada	20	Montreal, Que.	1964	Anchor ties
Place des Arts	19	Montreal, Que.	1963	Anchor ties
Montreal Trust	10	Toronto, Ont.	1963	Anchor ties
Palais de Justice	8	Montreal, Que.	1963	Anchor ties
National Arts Centre	7	Ottawa, Ont.	1962	Anchor ties

V. INTERNAL REPORTS

Department of Public Works, Testing Lab., Ottawa

- (1) "Preliminary Report on Rock Socket Investigation, D.O.T. Headquarters Building - Ottawa, Ontario". Report prepared for the D.P.W. Capital Region, Ottawa, Ontario - January, 1969. (Internal Report - not available)
- (2) "Report on Site Investigation for N.R.C. Radio Telescope Algonquin Park, Lake Traverse, Ontario". Report prepared for the Radio and Electrical Engineering Division of N.R.C. - February, 1961. (Internal Report - not available)
- (3) "Report on Subsurface Investigation at the Rideau Falls East Dam - Ottawa, Ontario". Report prepared for the D.P.W. District Office, Ottawa, Ontario - August, 1965. (Internal Report - not available)
- (4) "Report on Subsurface Investigation for the Proposed Access Tunnel (Albert/Queen Streets) to the Canadian Centre for the Performing Arts, Ottawa, Ontario". Report prepared for the Chief Architect, D.P.W., Ottawa, Ontario - August, 1965. (Internal Report - not available)

Department of Transport, Ottawa

A. Two interim reports are available:

- 1) Satellite Communication Ground Station, Mill Village, Nova Scotia. Report on Foundation Soils Investigation, January 1964.
- 2) Satellite Communication Ground Station, Mill Village, Nova Scotia. Report on Foundation Soils Investigation, Report No. 2, Feb. 1965.

The reports were prepared by the Engineering Design Division, Construction Branch, Department of Transport. The reports may be seen at the Department of Transport, in Ottawa, but are not available for loan.

B. The reports describe the investigations made to provide data to permit the design of mass concrete foundations placed in bedrock at Mill Village, Nova Scotia, to support antennae and associated structures. The operational requirements of the installation required a foundation that was virtually free from settlement and was sufficiently rigid so that the natural frequency of vibration of the structure would not be appreciably degraded by the flexibility of the foundation. The main problem was to estimate the effective modulus of elasticity of the rock mass. This was done by laboratory tests on small specimens.

L. Lachance, (A.B.B.D.L., Montreal)

- (1) Report on the geology of the Chûte-des-Passes hydroelectric project (For the Aluminum Co. of Canada Ltd.)
- (2) Report on Foundations for the Grand Rapids Hydroelectric Project. (For Manitoba Hydro.)

Terratech Ltée, Montreal

"Settlement Survey of Reactor Building, Centrale Nucléaire de Gentilly". The Reactor Building is a heavy cylindrical concrete structure lying on a circular rigid slab, founded on clay shale of Lorraine formation. Settlements observed during construction of the structure were found to amount to about 1/6 inch.

Wm. Trow Assoc. (Hamilton) Ltd.

Foundation Problems in Queenston Shale at Hamilton - Burlington - Niagara. Various consulting reports filed with Wm. Trow Assoc. (Hamilton) Ltd. (Private). Consultants responsible: J.D. Morton, W.A. Trow.



VI. ACTIVE GRADUATE THESIS WORK OR RESEARCH UNDER WAY

I. Bain (Univ. of British Columbia)

Research on development and application of a Borehole Overcore Loading Device. Designed to impose a simulated orthogonal load by radial sectors inserted into a stress relief overcore annulus, to be calibrated directly in terms of stress.

D.G. Hubley (Nova Scotia Technical College)

Physical properties and bearing capacity of sandstone. (Research partially completed).

G.L. Gibson (Carleton University)

"Small-scale field tests to determine load transfer by bond and end-bearing for drilled-in caissons in limestone". (M.Sc. Thesis, Carleton University).

N.L. Journeaux (Warnock Hersey Int. Ltd.)

Effect of mud seams in the Montreal limestone on the bearing capacity of drilled-in caissons.

A. MacDougall (Queen's University)

"Behaviour of jointed rock" (Emphasis on mapping). (M.Sc. project, Queen's University).

D. Milovic (Université de Sherbrooke)

Stresses on rock produced by a foundation lying at the surface of a compressible layer of limited thickness.

J.D. Morton (University of Toronto)

"Analysis of End Bearing on Shale Bedrock - Piles, caissons, deep footings". Current M.A.Sc. Thesis topic (1968-69), U. of Toronto.

A. Roy (Ecole Polytechnique)

Effect of the depth of embedment on bearing capacity of rock. (M.Sc. Thesis work, partially completed).

## VII. PUBLICATIONS

Note: The following list of publications is based on a literature survey made by the members of the Subcommittee and is completed by the bibliographical data supplied by the answers to the questionnaire. It is limited to papers written since 1950 by Canadian authors and/or concerning rock foundation problems encountered in Canadian practice.

- BAIN, I. - Relating mechanical tests on rock to excavation design. Assoc. Eng. Geol., Seattle 1968.
- BARIBEAU, B. - Large hydro developments in Quebec. Civil Engng., ASCE, December 1965, pp. 53 - 59.
- BAUER, A. - Trends in surface drilling and blasting. C.I.M. Bull., Vol. 61, No. 678, pp. 1175 - 1179, October 1968.
- BENKO, K.F. - Large-scale experimental grouting for Portage Mountain Dam. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R24.
- BENOIT, M., CREPEAU, P.M. and LAROCQUE, G.S. - Influence des fondations sur la conception du barrage Manicouagan 3. C.R. 9e Cong. des Grands Barrages, Istamboul, 1967, Vol. I, p. 775.
- BRODEUR, J.C. - High-Capacity Piles for the Support of a Large Basilica. The Engineering Journal, E.I.C., April 1957, pp. 409-412.
- BROWN, A., and CASEY, F.L. - Invest. into the stability of Dufferin Terrace, Quebec City. IR 60/112, Mines Branch, Ottawa, 1960.
- CHLUMECKY, N. - A method of testing the bearing capacity of floor strata. Mining Engng., Vol. 20, No. 3, pp. 68 - 71, March 1968.
- COATES, D.F. - Rock mechanics applied to the design of underground installations to resist ground shock from nuclear blasts. Proc. Rock Mechanics Symposium, University of Minnesota, Pergamon 1963.
- COATES, D.F. - Rock Mechanics Principles. Mines Branch Monograph 874, first edition 1965, second edition 1967.
- COATES, D.F. and GYENGE, M. - Plate load testing on rock for deformation and strength properties. ASTM, STP 402, 1966, pp. 19 - 35.
- COLLET, L. - Drilling and Grouting at Grand Rapids. Canad. Mining Journal, Vol. 86, No. 3, pp. 43 - 45, March 1965.
- CONLON, R.J. and GANONG, G.H.D. - The foundation of the Mactaquac rockfill dam. The Engineering Journal, E.I.C., April 1966, pp. 33 - 38.
- CREPEAU, P. - Les fondations du Barrage de Carillon. L'Ingénieur, été 1962, pp. 27 - 34.
- DANIKAUSLKAS, J.V. and COATES, D.F. - Compacted earth fill dam for Maritime hydro project. The Engineering Journal, E.I.C., April 1953, pp. 356 - 361.

- DEGUISE, Y. and FOREST, C. - The Beauharnois No. 3 development. The Engineering Journal, E.I.C., September 1959, pp. 64 - 73.
- DOLMAGE, V. - Rock mechanics and geology in relation to dam sites, pressure tunnels and underground power houses. Proc. 2nd Can. Rock Mech. Symp., Kingston, 1963.
- DUFOUR, R. - Forage et sautage. Génie Construction, avril 1968, vol. 11, no. 4, pp. 76 - 81, 84 - 87, 90, 93.
- DUSKES, O. - Foundations for the Queen Elizabeth Hotel. The Engineering Journal, E.I.C., December 1967, pp. 1793 - 1802.
- ECKENFELDER, G.V. - Spray hydro-electric power development. The Engineering Journal, E.I.C., April 1952, pp. 288 - 304.
- EILER, Z. - Model tests for estimating stability criterion of rock masses. Paper presented at the 1st Yugoslav Symp. on Rock Mech. and Underground Works, Beograd, 1963.
- EMERY, C.L. - The strain in rocks in relation to dam foundations. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R26.
- FINN, W.D.L. - Static and seismic analysis of slopes. Rock Mechanics and Engineering Geology, vol. IV/3, 1966, pp. 268 - 277.
- FINN, W.D.L. - Static and dynamic stresses in slopes. Proceedings, First International Congress on Rock Mechanics, Lisbon, September 1966, pp. 167 - 169.
- GRENIER, L. - Sautage à proximité des habitations. Génie Construction, janvier 1963, vol. 6, no. 1, pp. 20.
- HAINES, N.S. - Whitedog Falls and Caribou Falls generating stations. The Engineering Journal, E.I.C., October 1959, pp. 73 - 84, 95.
- HARDY, R.M. - The Peace River Highway Bridge - a failure in soft shales. Highway Research Board, Highway Research Record No. 17, May 1963, pp. 29 - 39.
- HEATON, Eric - Le coulis et ses divers usages. Génie Construction, février 1968, vol. 11, no. 2, pp. 48 - 51.
- HEATON, E. - Evaluation des quantités de produits chimiques et du coulis. Génie Construction, août 1968, vol. 11, no. 8, pp. 48 - 50.
- HEATON, E. - Grouting methods and procedures. Mining in Canada, February to December 1968.
- HIGGINS, J.M. and MILLER, C. - The Manicouagan power development. The Engineering Journal, E.I.C., July 1958, pp. 60 - 69.
- HUCKA, V. - A rapid method of determining the strength of rocks in situ. Int. Journal Rock Mech., Min. Sci., 1965, vol. 2.

- JASPAR, J.L. and SHTENKO, V.W. - Foundation anchor piles in clay shales. Canadian Geotechnical Jour., scheduled to be published in May 1969.
- JOMINI, H. - The Kenney Dam. The Engineering Journal, E.I.C., November 1954, pp. 1386 - 1397.
- LACHANCE, L. and GRICE, R.H. - The observation of changes in subsurface water regimes. Présentée à l'Assemblée annuelle de GSA à Cincinnati, 1961. (Paper presented at the annual meeting of GSA, Cincinnati, 1961)
- LACHANCE, L. - Hydrogeology of the Grand Rapids Site. Paper presented at the CIMM Annual Meeting, Winnipeg, 1965.
- LADANYI, B. and DON NGUYEN - Discussion on plate load testing. ASTM Rock Mech. Symposium, Seattle 1965, ASTM-STP, No. 402, 1966, pp. 36 - 40.
- LADANYI, B. - Rock failure under concentrated loading. Proc. 10th Symposium on Rock Mech., Austin, Texas, 1968.
- LAROCQUE, G.E. - A sonic system for the determination of in-situ dynamic properties and for the outlining of fracture zones. Proc. 6th Symp. on Rock Mech., Rolla, October 1964, pp. 358 - 380.
- LEDoux, J. - Opération préliminaire de carrière aux blocs d'ancrage du pont de Québec. Génie construction, mai 1966, vol. 9, no. 5, pp. 46 - 49.
- LEGGET, R.F. - Geology and engineering. McGraw Hill, 2nd ed., 1962.
- LOCKER, J.G. - The petrographic and engineering properties of fine-grained sedimentary rocks of central Alberta. (Ph.D. thesis to be published.)
- MACKENZIE, G.L. - The South Saskatchewan River Dam. The Engineering Journal, E.I.C., May 1970, pp. 50 - 55.
- MACKENZIE, I.D. and BROWN, E.L. - Geological features and foundation treatment at the Beechwood development. The Engineering Journal, E.I.C., December 1959, pp. 54 - 62.
- MACKAY, S.A. and GUIMOND, R. - Fast-setting resins in ground reinforcing. Mining in Canada, vol. 38, No. 6, pp. 8 - 21, June 1965.
- MATICH and KOZICKI - Some load tests on drilled cast-in-place concrete caissons. Canadian Geotechnical Journal, November 1967, vol. IV, No. 4, pp. 367 - 375.
- MATTHIAS, F.T. - Kemano, underground. The Engineering Journal, E.I.C., November 1954, pp. 1398 - 1412.
- MCTAVISH, R.J. - Construction of foundations for Vernon Narrows bridge. The Engineering Journal, E.I.C., June 1959, pp. 73 - 76.
- MEYERHOF, G.G. - Bearing capacity of concrete and rock. Mag. Concrete Res., London 1953, vol. 4, pp. 107 - 117.

- MILOVIC, D. and TOURNIER, J.P. - Stresses and displacements in an anisotropic mass. 2nd Cong. Int. Soc. Rock Mech., Beograd, 1970.
- MONTAGUE, J.R. - Engineering aspects of the Ottawa River power developments. The Engineering Journal, E.I.C., October 1950, pp. 850 - 863.
- MORGENSTERN, N. and TAMULY PHUKAN, A.L. - Stresses and deformations in a homogeneous non-linear foundation. International Symposium on Rock Mechanics, Madrid, October 1968.
- MORRISON, R.G.K. and COATES, D.F. - Soil mechanics applied to rock failure in mines. Trans. CIMM, vol 58, 1955.
- MORTON, J.D. - Geological and geotechnical correlation of cretaceous clay shales in Western Canada. A.E.G. Annual Conference, Dallas, 1967 (unpublished).
- MYLREA, F.H. - Geology of mica damsite, Columbia River, B.C. Proc. Geol. Assoc. of Canada, vol. 20, 1969, pp. 57 - 63.
- PARRAG, E. - Grout curtain for a Rock Mountain dam foundation. The Engineering Journal, E.I.C., January 1955, pp. 13 - 17.
- PATTERSON, F.W. and HAYDOCK, J.L. - The influence of bedrock structure and lithology in design of the Grand Rapids intake. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R43.
- PECKOVER, F.L. and TUSTIN, T.G. - The St. Lawrence Seaway, soil and foundation problems. The Engineering Journal, E.I.C., September 1958, pp. 69 - 76.
- PETERSON, R. - Studies of Bearpaw Shale at a dam site in Saskatchewan. Proc. ASCE, vol. 80, August 1954.
- PETERSON, R. - Rebound in the Bearpaw shale, western Canada. Bull. of the Geological Soc. of America, September 1958, vol. 69.
- PETERSON, R., RIVARD, P.J., JASPAR, J.L., IVERSON, N.L. - Limitations of laboratory shear strength in evaluating stability of highly plastic clays. Proc. of ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils (1960), pp. 765 - 791.
- PETERSON, R. and PETERS, N. - Heave of spillway structures on clay shales. Canadian Geotechnical Journal, vol. 1, No. 1, September 1963.
- PIGOT, C.H. and MACKENZIE, I.D. - Carillon foundation studies. The Engineering Journal, E.I.C., October 1961, pp. 65 - 71.
- PIGOT, C.H. and MACKENZIE, I.D. - A method used for an in-situ bedrock shear test. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R25.
- RETTIE, J.R. and PATTERSON, F.W. - Some foundation considerations at the Grand Rapids hydro-electric project. The Engineering Journal, E.I.C., December 1963, pp. 32 - 38.

- RINGHEIM, A.S. - Experiences with the Bearpaw shale at the South Saskatchewan River dam. Trans. 8th Cong. Large Dams, Edinburgh, 1964, Q28. R27.
- RIPLEY, C.F. and LEE, K.L. - Sliding friction tests on sedimentary rock specimens. Proc. 7th Int. Cong. on Large Dams, Rome, June 1961, Comm. C-8.
- ROUSSEAU, F. - Bersimis - Lac Cassé hydro-electric power development. The Engineering Journal, E.I.C., April 1956, pp. 373 - 386.
- SCHAUER, H.L. - Rationalisation de la technique des sondages pour les travaux publics. Génie Construction, octobre 1962, vol. 5, no. 10, pp. 48 - 55 and 65.
- SINCLAIR, S.R. and BROOKER, E.W. - The shear strength of Edmonton shale. Proc. Geot. Conf. Oslo, 1967, vol. 1, pp. 295 - 299.
- SLATER, W.M. - Prestressed anchors and tie-backs in greater use. Daily Commercial News and Building Record, May 24, 1967, pp. 16 - 17.
- STRANDBERG, H.W. - Design & construction features: boundary project. Journal of the Power Division ASCE, vol. 92, No. P02, April 1966, pp. 157 - 180.
- STRATTON, P.R. and BATH, C.T. - Silver Falls generating station. The Engineering Journal, E.I.C., October 1959, pp. 108 - 110, 122.
- TERRATECH LTEE. - Settlement survey of reactor building, Centrale Nucléaire de Gentilly. Rapport Technique.
- THOMAS, J.A. and GROUT, R.E. - Engineering features of the Beechwood development. The Engineering Journal, E.I.C., February 1959, pp. 44 - 55, 73.
- VERRONNEAU, G.P. - Lutte contre le roc. Génie Construction, décembre 1962, vol. 5, no. 12, pp. 32 - 35.
- VERRONNEAU, G.P. - Des caissons de 60 pouces sous place Alexis Nihon. Génie Construction, avril 1966, vol. 9, no. 4, pp. 28 - 31.

## VIII. LIAISON WITH ASTM COMMITTEE D-18 SUBCOMMITTEE 12 (ROCK MECHANICS)

Following a suggestion and recommendation by Mr. C. B. Crawford, Liaison Member of CACRM from the Associate Committee on Geotechnical Research, a direct contact has been established between the newly formed Subcommittee on Foundations of CACRM and the Subcommittee 12 (Rock Mechanics) Committee D-18 (Soil and Rock for Engineering Purposes) of the American Society for Testing and Materials.

It is hoped that through this contact a regular exchange of information between the two Subcommittees will be established with the view of coordinating the experience and avoiding the duplication of research efforts in some overlapping fields of interest.

The scope of activities of Subcommittee 12, D-18, ASTM is given in the following:

### ROCK MECHANICS

Subcommittee 12, Committee D-18, ASTM

#### Scope of Activities

It shall be the responsibility of Subcommittee 12 to develop or to stimulate the development by other subcommittees of acceptable nomenclature, definitions, and laboratory and in situ tests for rocks; for their sampling, identification and classification; for the measurement of static and dynamic stress-deformation properties; and for measurement of in-situ stresses under various environmental conditions of loading and unloading, weathering, and other types of alteration.

#### Principal Work Assignments of Sections

Section 1. Classification and Nomenclature. Establish standard nomenclature and definitions of terms concerning rock mechanics. Prepare standards for classifying rock for engineering purposes. Develop simple field tests for classification of rocks related to such basic engineering properties as compressive strength, penetration or rebound hardness, abrasion resistance, brittleness, and solubility. Equipment for these tests must be "pocket size" and rugged, and results must be immediately obtainable.

Section 2. Deformation Modulus. Prepare standard test methods for determining the deformation modulus of rock masses in the laboratory and in situ. Work will include selection of samples and test sites, influence of creep, set, foliation, cracks and joints, and, where applicable, the influence of dynamic loads and weakening influence of percolating waters.

Section 3. Strength. Prepare standard test methods for determining the strength of rock masses in the laboratory and in situ. Work will include selection of samples and test sites, influence of foliation, cracks and joints, and, where applicable, the influence of other factors such as dynamic loads, time, and percolating waters.

Section 4. In-situ Stresses. Prepare standard tests for determining the in-situ stresses of rock masses. Work will include determination of stress deformation relationships of rock deep within rock masses, as well as rock exposed by excavation.

Section 5. Rock Reinforcement. Prepare standard test methods for evaluating rock bolts in the laboratory and in situ. Work will include specifications for rock bolts and test methods for determining anchor resistance to pullout, torque-tension relationship, and loss of torque. Study factors influencing the requirements for bolt diameter, length, and spacing between bolts. Protective wire mesh and steel struts supported by rock bolts will also be considered.



### IX. RECOMMENDATIONS

From the above review it can be seen that in spite of valuable research efforts and realizations that have been made or are underway in this field in Canada, a majority of engineers interested in the subject of rock foundations consider that much has still to be done in order to develop clear and practical design criteria. In particular, it is recommended that research efforts be directed towards establishing better practical design criteria

- for end-bearing piles and drilled-in caissons, that would take into account more accurately the effect on the load transfer of rock type, rock defects and time.
- for planning and stabilizing construction cuts by rock bolts, rock anchors, grouting and guniting, that would take into account the mode of failure and loss of prestress with time in rock bolts and anchors, and the effects of blasting methods on rock cut stability.
- for impermeabilization of fracture rock by grouting.

To provide information on the above, studies should be made on:

- Finding improved techniques for in-situ rock investigation.
- Establishing a standard method or system of description and classification of rock mass in situ.
- Applying statistical principles to sampling geologic structures and determining in-situ strength of rock mass.

As far as the National Building Code is concerned, it is felt that a modification is necessary but can only be achieved as a result of intensive coordinated research. In particular, it is considered desirable that, in the Code, the allowable bearing pressure be eventually expressed as a function of rock mass properties.

ACKNOWLEDGEMENTS

The members of the Subcommittee gratefully acknowledge the collaboration of the following persons and organisations, who have supplied, in their answers to the questionnaire, most of the data and suggestions included in this report.

<u>Name</u>	<u>Affiliation</u>
P.C. Aitcin	Université de Sherbrooke Sherbrooke, Qué.
I. Bain	University of British Columbia Vancouver, B.C.
I. Botteron	Université de Québec Montréal, Qué.
K. N. Burn	National Research Council Ottawa, Ont.
P.N. Calder	Queen's University Kingston, Ontario
F.L. Casey	Mining Research Centre Ottawa, Ont.
D.F. Coates	Mining Research Centre Ottawa, Ont.
W. Comeau	Hydro-Québec Montréal
W.J. Eden	National Research Council Ottawa, Ont.
Z. Eiler	Hydro-Electric Power Commission of Ontario, Toronto, Ontario
W.D. Liam Finn	University of British Columbia Vancouver, B.C.
V. Hucka	Université Laval Québec, Qué.
G.T. Hughes	University of Saskatchewan Regina, Sask.
N.L. Iverson	Dept. of Agriculture P.F.R.A., Saskatoon, Sask.
N.L. Journeaux	Warnock-Hersey International Ltd. Montreal, Quebec.

L. Lachance	A.B.B.D.L., Montréal, Qué.
E.Z. Lajtai	University of New Brunswick Fredericton, N.B.
P. LeComte	Hydro-Québec Montréal, Qué.
R.W. Leigh	Rio Algom Mines Ltd., Toronto, Ontario
J.G. Locker	Royal Military College Kingston, Ont.
I.D. MacKenzie	The Shawinigan Engineering Co. Montreal, Que.
V.I. McCallum	Falconbridge Nickel Mines Ltd. Toronto, Ont.
H.W. McFarlane	University of New Brunswick Fredericton, N.B.
G.G. Meyerhof	Nova Scotia Technical College Halifax, N.S.
D. Milovic	Université de Sherbrooke Sherbrooke, Qué.
J.D. Morton	University of Toronto Toronto, Ont.
F.H. Mylrea	Caseco Consultants Vancouver, B.C.
D.J. Naylor	C.B.A. Engineering Ltd. Vancouver, B.C.
T.H. Patching	University of Alberta Edmonton, Alberta
A.L.T. Phukan	Université Laval Québec, Qué.
A.S. Ringheim	Dept. of Agriculture P.F.R.A., Regina, Sask.
G.Y. Sebastyan	Dept. of Transport Ottawa, Ont.
C. Senneville	Terratech, Ltée. Montréal, Qué.
W. M. Slater	Conenco International Ltd. and W. M. Slater Associates Don Mills, Ont.

A. G. Stermac                      Dept. of Highways of Ontario  
   Downsview, Ont.

L. Wolofsky                         Acres International Ltd.  
   Niagara Falls, Ont.

Research Groups and Organizations

- A.B.B.D.L., Montréal.
  
- Dept. of Public Works of Canada  
Testing Lab., Ottawa
  
- Department of Transport, Ottawa
  
- Hydro-Québec, Montréal
  
- Prairie Farm Rehabilitation Administration  
Canada Department of Agriculture  
Saskatoon, Sask.
  
- Section : Mécanique des roches  
Ecole Polytechnique, Montréal
  
- Terratech, Ltée.  
Montréal
  
- Wm. Trow Assoc.  
Hamilton, Ont.

DEPARTEMENT DE  
GENIE MINIER



ÉCOLE POLYTECHNIQUE

TÉL. 739-2451  
2500, AVE MARIE-GUYARD  
MONTREAL 26  
CANADA

SUBCOMMITTEE: ROCK FOUNDATIONS

of the Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics

April 29, 1969.

To: Members of the "Canadian Rock Mechanics Study Group",  
and Members of the Canadian Section of the International  
Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Sir:

The Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics has recently formed a Subcommittee on Rock Foundations whose main objective is to undertake a study of research needs in this field in Canada, and to make recommendations to the Committee on the fields of research in Rock Foundations that would be the most appropriate and most promising for solving actual problems.

As one of its first tasks, the Subcommittee has decided to accumulate all possible information concerning the actual state of research and study in this field in Canada. For this purpose, the members of the Subcommittee are actually making a bibliographical review of the papers on the subject published in Canada. They have decided, moreover, to send the enclosed Questionnaire to the members of both the "Canadian Rock Mechanics Study Group" and the "Canadian Section of the International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering".

In this manner, the Subcommittee hopes, not only to obtain more complete information concerning the important realizations in this field in the country, but also, and in particular, to learn the opinion of the engineers in practice as well as those involved in research, about what should be the priority lines of research in this field, both from a practical and a theoretical point of view.

Having in mind the importance which the work of the Subcommittee may have in the planning of Rock Mechanics Research in Canada, the members of the Subcommittee would be very grateful if you could furnish as much as possible of the information demanded in the Questionnaire, and return the latter before the 1st of June 1969.

Thanking you in advance for your collaboration,

Yours sincerely,

*B. Ladanyi*

Prof. B. Ladanyi,

Chairman, Subcommittee: "Rock  
Foundations" of the C.A.C.R.M.

BL:mp

SUBCOMMITTEE: ROCK FOUNDATIONS

of the Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics

QUESTIONNAIRE

concerning the application of Rock Mechanics to the problem of

FOUNDATIONS IN ROCK\*

NAME:

ADDRESS:

OCCUPATION:

- A. Your publications and reports in this field since 1950. (Authors, title, reference, availability).
- B. Interesting field works realized in this field by yourself and your collaborators. (Location, short description, bibliog. data).
- C. Active graduate thesis work or research under way known to you. (Institution, name of the student, title of the project).
- D. Suggestions concerning actual research needs. (List of problems to be studied by order of importance).
- E. Suggestions for an eventual modification of certain articles in the Canadian Building Code concerning Rock Foundations.

\* The subjects in which the Subcommittee is particularly interested are those involving the applications of Rock Mechanics in the fields such as:

- Foundations of large dams (Methods, solutions, studies and observations concerning the problems of deformation, stability, rock reinforcement, and seepage control)
- Shallow and deep foundations, as well as pile foundations, embedded in rock, both in Civil Engineering and in Mining Engineering.

The Subcommittee would appreciate very much if you could return this Questionnaire before the 1st of June to the address given below.

Prof. B. Ladanyi  
 Dept. of Mining Engineering  
 Ecole Polytechnique  
 C.P. 501 Snowdon  
 MONTREAL 248, P.Q.

COMITE CONSULTATIF CANADIEN  
SUR LA MECANIQUE DES ROCHES  
SOUS-COMITE SUR LES FONDATIONS

Rapport sur les activités du sous-comité pour l'année 1969

Montréal

Mai , 1970

PREFACE

Au mois de décembre 1968, à la suite d'une suggestion du Comité associé sur la recherche géotechnique, le Comité consultatif canadien sur la mécanique des roches formait un sous-comité sur les fondations "pour passer en revue les besoins dans ce domaine et recommander la recherche nécessaire".

Le nouveau sous-comité, qui se composait des quatre membres suivants:

MM. René Dufour (Ecole Polytechnique, Montréal)  
Branko Ladanyi (Ecole Polytechnique, Montréal)  
Guy S. Larocque (Hydro-Québec, Montréal)  
Laval Samson (Terratech Ltée, Montréal)

a tenu des réunions à Montréal au cours de la première moitié de 1969.

Après avoir défini l'étendue du problème et établi son programme de travail, le sous-comité a décidé d'utiliser, en tant que source principale de renseignements, un questionnaire couvrant les points principaux du sujet et de le faire circuler parmi les gens intéressés à la mécanique des roches et des sols au Canada.

Ce rapport utilise largement les données obtenues à l'aide de ce questionnaire et résume, par conséquent, les idées et les opinions de beaucoup de géotechniciens du Canada. Il est à espérer qu'il fournira une base de discussions et d'évaluations futures sur les besoins de recherche dans le domaine des fondations sur le rocher.

Branko Ladanyi,  
président,  
sous comité des fondations du CCCMR.

Montréal, mai 1970.



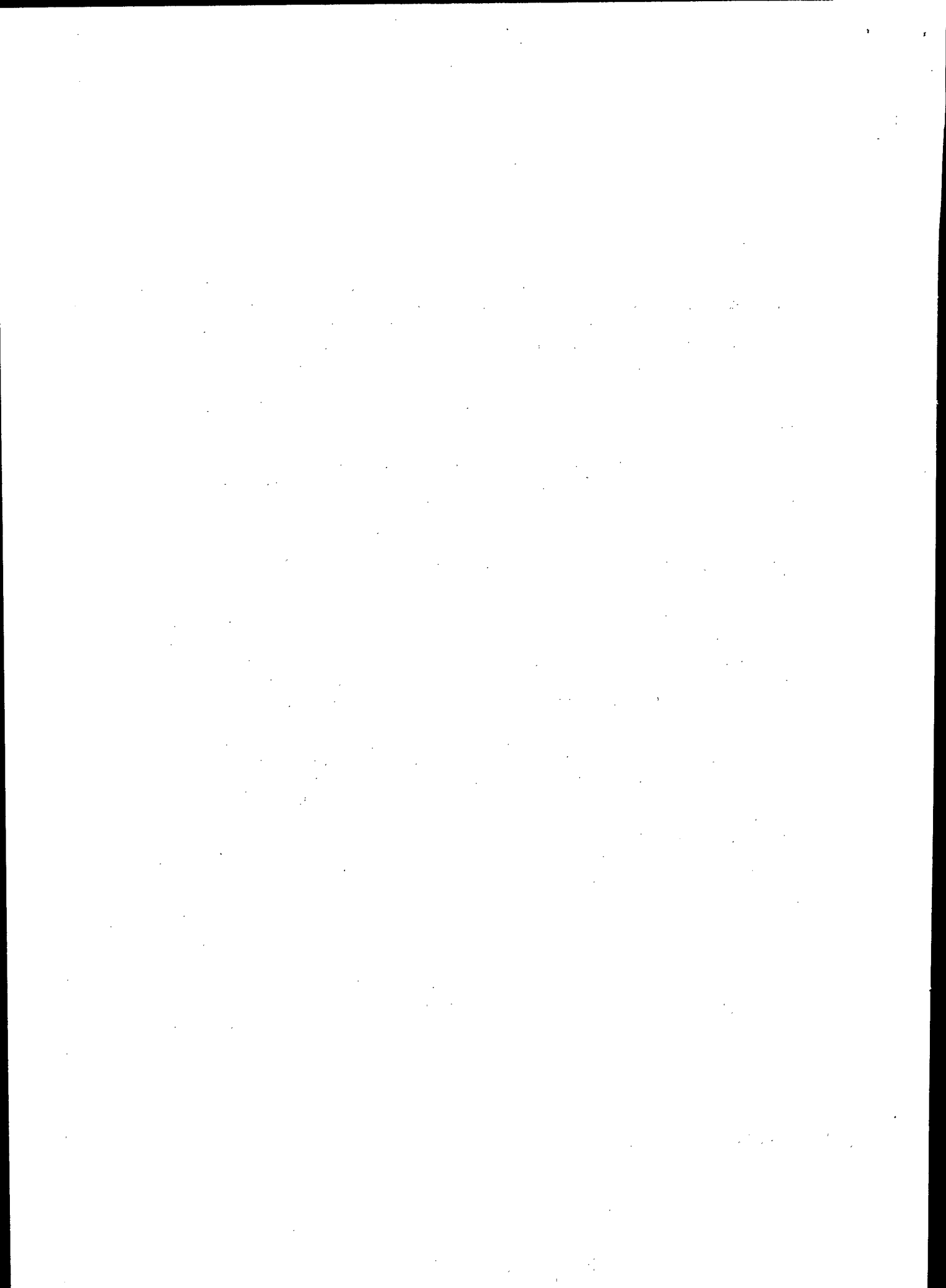


TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
PREFACE .....	iF
I. INTRODUCTION .....	1F
II. SUGGESTIONS CONCERNANT LES BESOINS ACTUELS DE RECHERCHE....	3F
1. Problèmes de déformation et de stabilité .....	3F
2. Problèmes de renforcement du rocher.....	3F
3. Problèmes de contrôle d'infiltration et de sous-pression	4F
4. Thèmes généraux relatifs aux problèmes de fondations dans le rocher .....	4F
III. SUGGESTIONS DE MODIFICATION EVENTUELLE DE CERTAINS ARTICLES DU CODE NATIONAL DU BATIMENT DU CANADA CONCERNANT LES FONDATIONS SUR LE ROCHER .....	6F
IV. TRAVAUX DE CHANTIER INTERESSANTS REALISES OU EN COURS .....	9F
V. RAPPORTS INTERNES .....	11F
VI. TRAVAUX DE THESE OU RECHERCHES EN COURS .....	13F
VII. PUBLICATIONS DEPUIS 1950 .....	14F
VIII. LIAISON AVEC LE COMITE D-18 DE L'ASTM, SOUS-COMITE 12 (MECANIQUE DES ROCHES) .....	19F
IX. RECOMMANDATIONS .....	21F
X. REMERCIEMENTS .....	22F
APPENDICE - Exemples du questionnaire et de la lettre d'accompagnement .....	25-26F

## I. INTRODUCTION

A sa première réunion en février 1969 à Montréal, le sous-comité s'est donné comme première tâche d'établir clairement l'étendue de son travail et les grandes lignes de son programme.

En ce qui concerne l'étendue du travail, il a été décidé que le sujet couvrirait les deux groupes suivants de fondations dans le rocher:

- fondations de grands barrages, et
- fondations de structures profondes et peu profondes, dans les applications à la fois du génie civil et minier.

On peut classer comme suit le genre de problèmes rencontrés dans la conception des fondations dans le rocher:

- (1) problèmes de déformation et de stabilité (tassement des fondations, mouvement des appuis des barrages, capacité portante des fondations, stabilité des excavations à ciel ouvert)
- (2) problèmes de renforcement (ancrage, boulonnage, coulis d'injection)
- (3) problèmes de contrôle d'infiltration et de sous-pression.

En pratique, afin de pouvoir faire une conception réussie des fondations dans le rocher, similaire à n'importe quelle autre conception de génie, on doit suivre un certain programme qui comprend normalement:

- obtention de données appropriées sur le comportement du matériau (déformation et résistance de la roche et du massif rocheux, étude des fissures, pression hydrostatique et hydrodynamique dans les fissures, conditions d'altération du rocher);
- choix d'une méthode de solution convenable (analyse théorique, essais sur modèle, simulation numérique);
- choix d'une méthode d'exécution optimale des points de vue technique et économique;
- observation du comportement de la structure terminée (observation à long terme sur place des mouvements de la structure, variations de la pression hydrostatique dans les fondations...).

D'après la liste ci-dessus, bien que le sujet des fondations en rocher ne représente qu'une petite partie du contexte général de la mécanique des roches, il constitue néanmoins un sujet assez vaste, particulièrement si nous considérons la variété de problèmes associés à la conception et à la construction des fondations en rocher.

Afin de réaliser sa tâche qui était de "passer en revue ce domaine et recommander la recherche nécessaire ayant pour objet l'amélioration des critères de conception", le sous-comité a considéré qu'une ou deux des lignes suivantes de travail serait adoptée:

- 1) préparer un rapport sur l'état de la situation qui serait basé sur un choix de références pertinentes, qui donnerait naissance à une liste de besoins de recherches à l'échelle internationale; ou
- 2) préparer une révision des contributions canadiennes dans ce domaine, ainsi qu'une liste des problèmes qui pourraient être d'intérêt immédiat pour les ingénieurs de ce pays.

On a pensé que l'un ou l'autre de ces deux genres de rapports apporterait une contribution valable. Cependant, en tenant compte du temps relativement court qui était disponible pour dresser ce rapport, et en considérant que la connaissance de l'aspect canadien du problème peut être d'un intérêt primordial, on a décidé de limiter ce premier rapport au contexte canadien. En conséquence, le sous-comité a choisi comme première tâche:

- d'accumuler les données sur les problèmes typiques de fondation en rocher rencontrés dans la pratique au Canada;
- de faire une revue des problèmes dont la solution serait d'un plus grand intérêt dans la pratique;
- de dresser une bibliographie des publications sur les problèmes des fondations en rocher écrites par des auteurs canadiens, ou des problèmes de fondations en rocher rencontrés dans la pratique au Canada.

Le sous-comité a considéré que la méthode la plus utile de réussir les renseignements nécessaires serait de mener une enquête dans tout le pays. Un questionnaire a donc été préparé en anglais et en français et envoyé avec une lettre aux membres du Groupe canadien d'étude de la mécanique des roches et à la Section canadienne de la Société internationale de la mécanique des sols et des travaux de fondations. Des exemplaires du questionnaire et de la lettre se trouvent en appendice.

Sur les 500 questionnaires postés, on n'a reçu qu'environ 50 réponses positives. Néanmoins, à partir de ces réponses, il a été possible d'obtenir une image assez claire de l'état réel de la recherche et des activités dans le domaine des fondations en rocher au Canada.

Nous donnons plus loin les principaux résultats de cette enquête, avec des commentaires.

## II. SUGGESTIONS CONCERNANT LES BESOINS ACTUELS DE RECHERCHE

Note: Dans la liste suivante, nous avons groupé par sujets les sujets de recherche suggérés. Le texte reproduit aussi fidèlement que possible la réponse donnée au questionnaire.

### 1. Problèmes de déformation et de stabilité

#### 1.1 Pieux à pointe portante et caissons forés

- Amélioration des méthodes d'essais sur le rocher (en laboratoire et sur place) nécessaires pour fournir les renseignements sur la résistance de la roche et du massif rocheux pour la détermination de la capacité portante avec référence spéciale à l'effet d'échelle et à la présence de discontinuités géologiques;
- Analyse des méthodes de conception courantes;
- Effet de la profondeur d'enfoncement dans le rocher sur la capacité portante de l'extrémité;
- Détermination appropriée du frottement latéral;
- Effet du fluage sur le transfert de charge;
- Effet des salbandes de boue ("mud seams") dans les roches sédimentaires sur la capacité portante;
- Conception des pieux à pointe portante et des caissons forés dans du rocher fracturé ou friable.

#### 1.2 Excavations et pentes dans le rocher

- Principes généraux pour la stabilisation des pentes rocheuses naturelles et des pentes des excavations à ciel ouvert;
- Utilisation des données de comportement réel du massif rocheux dans l'analyse de la stabilité des pentes;
- Continuation de la recherche de la stabilité de la Terrasse Dufferin à Québec en considérant le risque de glissement de terrain résultant des changements saisonniers.

### 2. Problèmes de renforcement du rocher

Méthodes de conception pour l'application des techniques de précontrainte au sol et au rocher; pertes de précontrainte; corrosion des tendons, protection souterraine; facteurs de sécurité; genres de rupture des contre-attaches et des ancrages en rocher; étude économique des ancrages post-contraints en rocher en regard des caissons forés et des solutions gravitaires; méthode pour définir l'adhérence roc-béton d'un ancrage situé dans un roc tendre.

### 3. Problèmes de contrôle d'infiltration et de sous pression

Corrélation entre la géologie et la perméabilité d'un massif rocheux afin de rationaliser le drainage et l'imperméabilisation des fondations dans le rocher.

Développement de paramètres d'ingénierie relatifs à l'usage de boulons dans le rocher pour fixer le béton des fondations ou la base des colonnes en particulier où les forces de soulèvement doivent être contrecarrées.

Méthodes pour déterminer la perméabilité du rocher en place et pour évaluer subséquemment les infiltrations probables, les besoins d'injections de ciment, de drainage, etc...

Méthodes pour mesurer l'efficacité des rideaux de coulis dans le rocher.

Prévisions des volumes de coulis à injecter dans le rocher.

### 4. Thèmes généraux relatifs aux problèmes de fondations dans le rocher

Méthodes d'investigation des emplacements.

Application des principes statistiques à l'étude des structures géologiques. Corrélation de la description statistique des traits structuraux géologiques avec la rupture dans le rocher.

Méthode ou système standard de description et classification du rocher en place.

Méthodes pour déterminer les patrons de fractures, les systèmes de fissures, etc... du rocher en place et leurs effets sur la résistance du massif rocheux.

Méthodes d'exploration autres que le carottage (comme l'utilisation de méthodes géophysiques) pour faire le relevé systématique de certaines propriétés des matériaux rencontrés dans le sondage.

Méthodes améliorées de carottage dans le rocher pour obtenir de meilleures récupérations. Souvent, il est impossible de récupérer les zones de rocher faible qui sont, du point de vue pratique, les plus intéressantes à analyser. Techniques améliorées pour la cartographie des diaclases.

Caractéristiques de déformation des masses de rocher.

Définir une corrélation, ou une méthode pour obtenir la corrélation, entre le module de déformation  $E$  des échantillons de roc et le module de déformation du rocher en place.

Propriétés physiques et mécaniques des massifs rocheux.

Résistance, déformabilité et altérabilité des massifs rocheux.

Relation entre les essais en laboratoire et sur place; effets d'échelle.

Besoin d'essais en place à grande échelle. Les échantillons de laboratoire donnent normalement des résultats "optimistes" parce qu'ils ne contiennent normalement pas les traits structuraux qui peuvent affecter le comportement de la masse du rocher en place.

La recherche devrait être concentrée sur les mesures de propriétés mécaniques du rocher en place. Cette suggestion est faite parce qu'actuellement les techniques analytiques sont très en avance sur les renseignements qui leur sont soumis.

Attribuer des paramètres de résistance au rocher fissuré par des essais en place.

Mécanisme de rupture du rocher en place. Paramètres de la résistance du massif rocheux.

Le rapport entre la résistance verticale et la résistance horizontale des massifs rocheux, y compris l'influence des faiblesses structurales comme des plans de stratification, des fissures, etc...

Etude des contraintes et des déformations réelles inter et intra-granulaires produites dans les rochers, et leur relation avec la déformation et la résistance du rocher en place.

Relation effort-déformation de différents rochers à de faibles niveaux d'effort, et effet de l'humidité sur ce rapport.

Définition des conditions menant au processus d'altération du rocher comme appliqué au schiste argileux, et mesure des forces impliquées.

Comportement des agrégats gréseux tendres sous une charge statique et répétée.

Etablir un système de classification pour les roches sédimentaires à grains fins.

Imaginer une méthode pratique pour évaluer le degré de fissuration avec les propriétés significatives, c'est-à-dire l'élasticité, sur une base pratique.

Résistance au cisaillement du schiste argileux.

Mesure pratique et raisonnablement juste des contraintes dans le rocher en place dans des trous forés de 100 à 1000 pieds de profondeur.

Méthodes d'excavation.

Contrôle de dynamitage et règlements. Mesure des effets.

III. SUGGESTIONS DE MODIFICATION EVENTUELLE DE CERTAINS ARTICLES  
DU CODE NATIONAL DU BATIMENT DU CANADA CONCERNANT LES  
FONDACTIONS SUR LE ROCHER

Note : En plus des suggestions reçues en réponse à l'enquête, ce chapitre contient aussi la traduction de la lettre de M. K.N. Burn, conseiller en recherche au sous-comité de la Section 4.2, Fondations, du Code national du Bâtiment. La lettre éclaircit quelques points importants concernant l'édition actuelle (1970) et la prochaine édition (1975) du Code.

Les suggestions suivantes sont données suivant le mot-à-mot exact des réponses fournies au questionnaire.

- Il devrait exister un exposé écrit des limites raisonnables de la responsabilité légale dans le cas de glissement de terrain.

- Il est vraisemblable que les massifs rocheux sont considérablement plus forts que les forces portantes admissibles dans le Code des fondations de bâtiments peu élevés appuyés sur le rocher. Des recherches plus poussées devraient être entreprises pour permettre d'utiliser de plus hautes valeurs, en tenant compte des différents types de défauts qui peuvent exister dans le rocher. Par exemple, une série de facteurs peuvent servir à modifier une valeur de force portante de base qui s'appliquerait au roc sain d'un type donné exempt de faiblesses. Cette valeur de base pourrait être rapportée aux données statistiques disponibles relatives à la résistance à la compression ou à quelque autre type de paramètre de résistance. Les facteurs de correction pourraient tenir compte de l'épaisseur et de l'inclinaison des lits, de la fragmentation, de l'espacement et de l'orientation des diaclases, etc... Naturellement, pour utiliser cette méthode, le type et l'aspect de la masse rocheuse doivent être connus. Dans beaucoup de cas, il faudrait faire des forages de reconnaissances ou des puits d'investigation.

Les plus hautes forces portantes permises pourraient être utilisées pour les pieux enfoncés jusqu'au ou dans le rocher en place plutôt que pour des semelles sur le rocher. Par exemple, en Suède, il est apparemment d'usage d'utiliser la résistance à la compression des roches avec un facteur de sécurité relativement bas pour le calcul des pointes d'acier cylindriques ("rock points") communément employées à la base des pieux à pointe portante.

- Le Code devrait tenir compte du type de roc en déterminant la force portante des fondations, des caissons, des pieux, etc....

- Facteurs de sécurité et les forces portantes permises pour les fondations en rocher.



- Des modifications éventuelles au Code du Bâtiment sont inévitables, mais ne peuvent se faire qu'à la suite de recherches coordonnées intensives, en un effort conjugué des divers conseillers qualifiés et des départements universitaires de génie sous la coordination du groupe géotechnique local, si possible.

- Il serait souhaitable que le code donne des valeurs de la capacité portante admissible du roc pour bâtiments supérieurs à deux étages; les valeurs présentement citées dans le code ne s'appliquent qu'aux bâtiments à deux étages ou moins de hauteur.

Egalement, il serait souhaitable que la capacité portante admissible du roc soit exprimée en fonction (1) des propriétés de la roche (résistance à la compression ou module de déformation ou autres) et du massif rocheux (fréquence et orientation des joints, couches molles, etc.), (2) des dimensions de l'empatement, (3) des tolérances de l'ouvrage.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

Division des recherches en bâtiment

OTTAWA 7.

12 mai 1969.

M. le Professeur B. Ladanyi  
Président, sous-comité "Fondations en rocher  
du CCCMR"  
Département de génie minier  
Ecole Polytechnique  
C.P. 501, Snowdon,  
Montréal 248, Qué.

Cher Branko,

J'ai noté avec intérêt que vous aviez inclus l'article "E" dans le questionnaire sur les fondations en rocher que vous avez récemment fait circuler au nom du Sous-comité récemment formé des Fondations en rocher. En tant que conseiller en recherche au sous-comité chargé de la section 4.2 des Fondations du Code National du Bâtiment, je suggère les remarques suivantes:

La prochaine édition du Code apparaîtra au début de l'année prochaine et, actuellement, tous les comités ont terminé leurs délibérations et ont rédigé le texte final pour le rédacteur en chef. Chaque texte a été disponible au tout début pour les commentaires publics et les textes définitifs reflètent les points que les comités ont considéré comme pertinents et valides.

Le comité de révision pour la section 4.2 Fondations a, dès le début, reconnu certaines déficiences et apporté par la suite des modifications importantes concernant les articles sur le rocher auxquels vous faites allusion dans le questionnaire. Au cas où vous n'auriez pas vu ces nouveaux articles, j'en joins un exemplaire à la présente.

Les membres d'un autre comité seront bientôt nommés et chargés de la responsabilité de revoir et réviser la section 4.2 pour l'édition qui paraîtra en 1975. Je suis sûr qu'ils seront heureux de considérer toutes les suggestions que votre sous-comité jugera bon de porter à leur attention.

Amitiés,

K.N. Burn  
Section géotechnique  
69-SM-278

KNB/ERM  
P.J.

IV - TRAVAUX DE CHANTIER INTERESSANTS REALISES  
OU EN COURS

A.B.B.D.L., Montréal

Etudes de travaux souterrains pour Manicouagan 3 (Hydro-Québec)  
et un projet à Mali, en Guinée.

Département des Travaux publics du Canada, Laboratoires d'essais, Ottawa.

- (1) Une étude est présentement en cours à Ottawa sur le comportement d'un bâtiment construit sur un schiste argileux noir. La partie centrale est soulevée à cause d'une réaction complexe physico-chimique dans le rocher en place. Une communication est actuellement en préparation en collaboration avec M. R.M. Quigley de l'University of Western Ontario.
- (2) Une investigation est actuellement entreprise pour construire un bâtiment administratif de grande taille à Ottawa. Il aura de larges semelles de fondation fondées sur le rocher constitué de calcaire et recoupé par une zone de faille. Le rocher comprend quelques zones poreuses relativement minces dont les résistances ont été étudiées.

Division des recherches en bâtiment, C.N.R.C.

Etudes de comportement sur des bâtiments construits sur une formation de schiste de Billings qui s'est soulevé de  $3\frac{1}{2}$ " en 3 ans par suite d'une altération du schiste. Il semble qu'il en existe plusieurs exemples dans la région d'Ottawa.  
Courte description "Schiste gonflant".

Collège technique de Nouvelle-Ecosse

Essais de détermination en place de la force portante des grés.

The Shawinigan Eng. Co.

Fondations de la centrale de Tracy, fondation flottante, 250' de silts peu denses, et d'argile. Tassements minimaux. Pieux appuyés sur le rocher rejetés à cause de la nature du roc et des morts-terrains.

Division de la mécanique du sol et des matériaux du P.F.R.A.,  
Saskatoon, Sask.

Au cours des années, le P.F.R.A. a mené des recherches, des essais sur place et en laboratoire, des études de conception et a préparé des évaluations de coûts pour un certain nombre d'emplacements de barrages dans les quatre provinces de l'ouest. Un grand nombre de ces barrages ont été construits, comme les barrages Gardiner, Waterton, St.Mary's, Boundary, Shellmouth, Penticton, etc. Dans la plupart des emplacements étudiés, le

rocher en place consiste de roche sédimentaire tendre d'âge crétacé incluant des formations géologiques telles que Bearpaw, Edmonton, Belly River, St.Mary, Oldman, Paskapoo, Ravenscrag, etc... La plupart de nos investigations détaillées ont porté sur des schistes argileux.

Pour les travaux sur place, on a opté pour des techniques d'investigation standards, ce qui veut dire études de carottage et de techniques de carottage et essais de perméabilité en place.

P.F.R.A., Régina

Etudes de fondation au barrage de South Saskatchewan River portant sur le schiste de Bearpaw - schiste argileux surconsolidé tendre.

Section mécanique des roches, Ecole Polytechnique

Essais en place pour déterminer l'effet d'enfoncement dans le rocher sur sa force portante.

Conenco Int. Ltd.

EXPERIENCE D'ATTACHE DANS LE ROCHER DE CONENCO CANADA (1968) LIMITED

NOM DU PROJET	VALEUR EN MILLIONS \$	EMPLACEMENT	DATE DE FIN DES TRAVAUX	DESCRIPTION
Mica Creek	50	Colombie Brit.	1969	Attaches dans roc
Hilton Mines	1	Québec	1968	" (longueur 100')
Shaw & Pegg	1/2	Toronto, Ont.	1968	Attaches dans sol
Whitemud Bridge	1	Edmonton, Alta.	1968	Pieux de tension
King St. East	1/2	Toronto, Ont.	1968	Attaches dans roc
C.N.		Oshawa, Ont.	1968	Ancrages dans sol
Pont de l'Univ. Trent	1/4	Peterborough, Ont.	1968	Attaches dans roc
Stewartville(barrage)	2	Ontario	1967	Attaches submergées (de 60')
Parkway Bridges	1	Ottawa, Ont.	1967	Attaches dans roc
Centre Toronto-Dominion		Toronto, Ont.	1967	Attaches-ancrages
Red River	10	Manitoba	1966	Attaches dans roc
C.N.Turcotte Yard	3	Montréal, Qué.	1966	Ancrages dans sol
Tour Simpson's	15	Toronto, Ont.	1966	Attaches-ancrages
Holiday Inn	2	Montréal, Qué.	1966	"
Centrale nucléaire	105	Pickering, Ont.	1966	"
Place Ville-Marie	80	Montréal, Qué.	1965	"
Place du Canada	20	" "	1964	"
Place des Arts	19	" "	1963	"
Montreal Trust	10	Toronto, Ont.	1963	"
Palais de Justice	8	Montréal, Qué.	1963	"
Centre National d'Arts	7	Ottawa, Ont.	1962	"

V. RAPPORTS INTERNES

Ministère des Travaux publics, Laboratoires d'essais, Ottawa

- (1) "Preliminary Report of Rock Socket Investigation, D.O.T. Headquarters Building, Ottawa, Ontario". Rapport préparé par le Ministère des travaux publics de la région d'Ottawa. Janvier 1969. (Rapport interne - non disponible).
- (2) "Report on Site Investigation for N.R.C. Radio Telescope, Algonquin Park, Lake Traverse, Ontario". Rapport préparé par la division de Génie de la radio et de l'électricité du N.R.C., février 1961. (Rapport interne - non disponible).
- (3) "Report on Subsurface Investigation at the Rideau Falls East Dam - Ottawa, Ontario". Rapport préparé par le bureau de district du Ministère des travaux publics, Ottawa, Ontario. Août 1965. (Rapport interne - non disponible).
- (4) "Report on Subsurface Investigation for the Proposed Access Tunnel (Albert/Queen Streets to the Canadian Centre for the Performing Arts Ottawa, Ontario)". Rapport préparé par l'architecte principal, Ministère des travaux publics, Ottawa, Ontario. Août 1965. (Rapport interne - non disponible).

Ministère des Transports, Ottawa

A. Deux rapports intérimaires sont disponibles:

- 1) Station terrestre de communication par satellite, Mill Village, Nouvelle Ecosse. Rapport d'investigation des sols de fondation, janvier 1964.
- 2) Station terrestre de communication par satellite, Mill Village, Nouvelle Ecosse. Rapport d'investigation des sols de fondation, rapport no. 2, février 1965.

Les rapports ont été préparés par la division de Conception du Génie, département de la Construction, Ministère des Transports. Les rapports peuvent être consultés au Ministère des Transports, à Ottawa, mais ne sont pas disponibles pour prêt.

B. Les rapports décrivent les recherches faites pour fournir les données permettant la conception des fondations de béton de masse placées sur le rocher à Mill Village, Nouvelle-Ecosse, pour supporter l'antenne et les structures connexes. Le fonctionnement de l'installation nécessitait une fondation virtuellement exempte de tassement et qui fut suffisamment rigide pour que la fréquence naturelle de vibration de la structure ne soit pas atteinte par la flexibilité de la fondation. Le problème principal était d'évaluer le module d'élasticité effectif de la masse rocheuse. Ce qui a été fait par des essais de laboratoire sur de petits échantillons.

L. Lachance (A.B.B.D.L., Montréal)

- (1) Rapport géologique sur le projet hydroélectrique de Chute-des-Passes (pour le compte de l'Aluminum Co. of Canada Ltd.).

- (2) Rapport de fondations pour le projet hydroélectrique de Grand Rapids  
(pour le compte de la Manitoba Hydro).

Terratech Ltée, Montréal

"Etude du tassement du bâtiment du réacteur de la centrale nucléaire Gentilly". Le bâtiment du réacteur est une lourde structure de béton cylindrique reposant sur un radier rigide circulaire, bâti sur un schiste argileux de la formation Lorraine. Les tassements observés durant la construction de la structure ont été d'environ 1/5 pouce.

Wm Trow Assoc. (Hamilton) Ltd.

Problèmes de fondation dans le schiste argileux Queenston à Hamilton-Burlington-Niagara.

Différents rapports de consultation chez Wm Trow Assoc. (Hamilton) Ltd. (privé).

Conseillers responsables: J.D. Morton et W.A. Trow.

VI. TRAVAUX DE THESE OU RECHERCHES EN COURS

I. Bain (Université de Colombie Britannique)

Recherche sur le développement et la mise au point d'un appareil servant à effectuer un chargement à l'intérieur d'un trou de forage. Cet appareil est conçu pour imposer un chargement orthogonal à l'aide de secteurs radiaux qui sont insérés à l'intérieur d'un anneau de rocher préparé par surcarottage et dans lequel les contraintes ont été relâchées. Cet instrument serait directement calibré en termes d'efforts.

D.G. Hubley (Collège technique de Nouvelle-Ecosse)

Propriétés physiques et capacité portantes du grès (recherche partiellement terminée).

G.L. Gibson (Université Carleton)

Essais en place à petite échelle pour déterminer le transfert de charge dû au frottement des parois ou à la pointe portante dans le cas de caissons forés dans le calcaire (thèse de maîtrise).

N.L. Journeaux (Warnock Hersey Int. Ltd.)

Effets des salbandes de boue dans le calcaire de Montréal sur la force portante des caissons forés dans le rocher.

A. MacDougall (Université Queens)

Comportement des rochers fracturés et fissurés (emphasis sur la cartographie) - (Projet de maîtrise).

D. Milovic (Université de Sherbrooke)

Efforts sur le rocher transmis par une fondation qui repose à la surface d'une couche compressible de faible épaisseur.

J.D. Morton (Université de Toronto)

Analyse de la capacité portante à la pointe (pieux, caissons, semelles profondes) d'un schiste argileux. Thèse de maîtrise 1968-69.

A. Roy (Ecole Polytechnique)

Effet d'encastrement ou d'enfoncement de la fondation dans le rocher sur sa capacité portante.  
Thèse de maîtrise partiellement complétée.

VII. PUBLICATIONS DEPUIS 1950

La liste de publications qui suit a été préparée à partir d'une revue de la littérature technique par les membres du sous-comité et complétée par les références bibliographiques données lors des réponses au questionnaire. Elle comprend seulement les articles écrits depuis 1950 par des auteurs canadiens qui concernent des problèmes de fondations en rocher rencontrés dans la pratique canadienne.

- BAIN, I. - Relating mechanical tests on rock to excavation design. Assoc. Eng. Geol., Seattle, 1968.
- BARIBEAU, B. - Large hydro developments in Quebec. Civil Engng., ASCE, December 1965, pp. 53 - 59.
- BAUER, A. - Trends in surface drilling and blasting. C.I.M. Bull., Vol. 61, No. 678, pp. 1175 - 1179, October 1968.
- BENKO, K.F. - Large-scale experimental grouting for Portage Mountain Dam. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R24.
- BENOIT, M., CREPEAU, P.M. and LAROCQUE, G.S. - Influence des fondations sur la conception du barrage Manicouagan 3. C.R. 9e Cong. des Grands Barrages, Istamboul, 1967, Vol. I, p. 775.
- BRODEUR, J.C. - High-Capacity Piles for the Support of a Large Basilica. The Engineering Journal, E.I.C., April 1957, pp. 409 - 412.
- BROWN, A. and CASEY, F.L. - Invest. into the stability of Dufferin Terrace, Quebec City. IR 60/112, Mines Branch, Ottawa.
- CHLUMECKY, N. - A method of testing the bearing capacity of floor strata. Mining Engng., Vol. 20, No. 3, pp. 68 - 71, March 1968.
- COATES, D.F. - Rock mechanics applied to the design of underground installations to resist ground shock from nuclear blasts. Proc. Rock Mechanics Symposium, University of Minnesota, Pergamon, 1963.
- COATES, D.F. - Rock Mechanics Principles. Mines Branch Monograph 874, first edition 1965, second edition 1967.
- COATES, D.F. and GYENGE, M. - Plate load testing on rock for deformation and strength properties. ASTM, STP 402, 1966, pp. 19 - 35.
- COLLET, L. - Drilling and Grouting at Grand Rapids. Canad. Mining Journal, Vol. 86, No. 3, pp. 43 - 45, March 1965.
- CONLON, R.J. and GANONG, G.H.D. - The foundation of the Mactaquac rockfill Dam. The Engineering Journal, E.I.C., April 1966, pp. 33 - 38.
- CREPEAU, P. - Les fondations du Barrage de Carillon. L'Ingénieur, été 1962, pp. 27 - 34.
- DANIKAUSLKAS, J.V. and COATES, D.F. - Compacted earth fill dam for Maritime hydro project. The Engineering Journal, E.I.C., April 1953, pp. 356-361.



- DEGUISE, Y. and FOREST, C. - The Beauharnois No. 3 development. The Engineering Journal, E.I.C., September 1959, pp. 64 - 73.
- DOLMAGE, V. - Rock mechanics and geology in relation to dam sites, pressure tunnels and underground power houses. Proc. 2nd Can. Rock Mech. Symp., Kingston, 1963.
- DUFOUR, R. - Forage et sautage. Génie Construction, avril 1968, vol. 11, no. 4, pp. 76 - 81, 84 - 87, 90, 93.
- DUSKES, O. - Foundations for the Queen Elizabeth Hotel. The Engineering Journal, E.I.C., December 1967, pp. 1793 - 1802.
- ECKENFELDER, G.V. - Spray hydro-electric power development. The Engineering Journal, E.I.C., April 1952, pp. 288 - 304.
- EILER, Z. - Model tests for estimating stability criterion of rock masses. Paper presented at the 1st Yugoslav Symp. on Rock Mech. and Underground Works, Beograd, 1963.
- EMERY, C.L. - The strain in rocks in relation to dam foundations. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R26.
- FINN, W.D.L. - Static and seismic analysis of slopes. Rock Mechanics and Engineering Geology, vol. IV/3, 1966, pp. 268 - 277.
- FINN, W.D.L. - Static and dynamic stresses in slopes. Proceedings, First International Congress on Rock Mechanics, Lisbon, September 1966, pp. 167 - 169.
- GRENIER, L. - Sautage à proximité des habitations. Génie Construction, janvier 1963, vol. 6, no. 1, pp. 20.
- HAINES, N.S. - Whitedog Falls and Caribou Falls generating stations. The Engineering Journal, E.I.C., October 1959, pp. 73 - 84, 95.
- HARDY, R.M. - The Peace River Highway Bridge - a failure in soft shales. Highway Research Board, Highway Research Record No. 17, May 1963, pp. 29 - 39.
- HEATON, Eric. - Le coulis et ses divers usages. Génie Construction, février 1968, vol. 11, no. 2, pp. 48 - 51.
- HEATON, E. - Evaluation des quantités de produits chimiques et du coulis. Génie Construction, août 1968, vol. 11, no. 8, pp. 48 - 50.
- HEATON, E. - Grouting methods and procedures. Mining in Canada, February to December 1968.
- HIGGINS, J.M. and MILLER, C. - The Manicouagan power development. The Engineering Journal, E.I.C., July 1958, pp. 60 - 69.
- HUCKA, V. - A rapid method of determining the strength of rocks in situ. Int. Journal Rock Mech., Min. Sci., 1965, vol. 2.

- JASPAR, J.L. and SHTENKO, V.W. - Foundation anchor piles in clay shales. Canadian Geotechnical Jour., scheduled to be published in May 1969.
- JOMINI, H. - The Kenney Dam. The Engineering Journal, E.I.C., November 1954, pp. 1386 - 1397.
- LACHANCE, L. and GRICE, R.H. - The observation of changes in subsurface water regimes. Présentée à l'Assemblée annuelle de GSA à Cincinnati, 1961. (Paper presented at the annual meeting of GSA, Cincinnati, 1961.)
- LACHANCE, L. - Hydrogeology of the Grand Rapids site. Paper presented at the CIMM Annual Meeting, Winnipeg, 1965.
- LADANYI, B. and DON NGUYEN - Discussion on plate load testing. ASTM Rock Mech. Symposium, Seattle, 1965, ASTM-STP, No. 402, 1966, pp. 36 - 40.
- LADANYI, B. - Failure mechanism of rock under a plate load. Proc. 1st Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Lisbon, 1966 vol. 1, pp. 415 - 420.
- LADANYI, B. - Rock failure under concentrated loading. Proc. 10th Symposium on Rock Mech., Austin, Texas, 1968.
- LAROCQUE, G.E. - A sonic system for the determination of in-situ dynamic properties and for the outlining of fracture zones. Proc. 6th Symp. on Rock Mech., Rolla, October 1964, pp. 358 - 380.
- LEDOUX, J. - Opération préliminaire de carrière aux blocs d'ancrage du pont de Québec. Genie construction, mai 1966, vol. 9, no. 5, pp. 46 - 49.
- LEGGET, R.F. - Geology and engineering. McGraw Hill, 2nd ed., 1962.
- LOCKER, J.G. - The petrographic and engineering properties of fine-grained sedimentary rocks of central Alberta. (Ph.D. thesis to be published.)
- MACKENZIE, G.L. - The South Saskatchewan River Dam. The Engineering Journal, E.I.C., May 1970, pp. 50 - 55.
- MACKENZIE, I.D. and BROWN, E.L. - Geological features and foundation treatment at the Beechwood development. The Engineering Journal, E.I.C., December 1959, pp. 54 - 62.
- MACKAY, S.A. and GUIMOND, R. - Fast setting resins in ground reinforcing. Mining in Canada, vol. 38, no. 6, pp. 8 - 21, June 1965.
- MATICH and KOZICKI - Some load tests on drilled cast-in-place concrete caissons. Canadian Geotechnical Journal, November 1967, vol. IV, No. 4, pp. 367 - 375.
- MATTHIAS, F.T. - Kemano, underground. The Engineering Journal, E.I.C., November 1954, pp. 1398 - 1412.
- MCTAVISH, R.J. - Construction of foundations for Vernon Narrows bridge. The Engineering Journal, E.I.C., June 1959, pp. 73 - 76.
- MEYERHOF, G.G. - Bearing capacity of concrete and rock. Mag. Concrete Res., London, 1953, vol. 4, pp. 107 - 117.

- MILOVIC, D. and TOURNIER, J. P. - Stresses and displacements in an anisotropic mass. 2nd Cong. Int. Soc. Rock Mech., Beograd, 1970.
- MONTAGUE, J.R. - Engineering aspects of the Ottawa River power developments. The Engineering Journal, E.I.C., October 1950, pp. 850 - 863.
- MORGENSTERN, N. and TAMULY PHUKAN, A.L. - Stresses and deformations in a homogeneous non-linear foundation. International Symposium on Rock Mechanics, Madrid, October 1968.
- MORRISON, R.G.K. and COATES, D.F. - Soil mechanics applied to rock failure in mines. Trans. CIMM, vol. 58, 1955.
- MORTON, J.D. - Geological and geotechnical correlation of cretaceous clay shales in Western Canada. A.E.G. Annual Conference, Dallas, 1967 (unpublished).
- MYLREA, F.H. - Geology of mica damsite, Columbia River, B.C. Proc. Geol. Assoc. of Canada, vol. 20, 1969, pp. 57 - 63.
- PARRAG, E. - Grout curtain for a Rock Mountain dam foundation. The Engineering Journal, E.I.C., January 1955, pp. 13 - 17.
- PATTERSON, F.W. and HAYDOCK, J.L. - The influence of bedrock structure and lithology in design of the Grand Rapids intake. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R43.
- PECKOVER, F.L. and TUSTIN, T.G. - The St. Lawrence Seaway, soil and foundation problems. The Engineering Journal, E.I.C., September 1958, pp. 69 - 76.
- PETERSON, R. - Studies of Bearpaw shale at a dam site in Saskatchewan. Proc. ASCE, vol. 80, August 1954.
- PETERSON, R. - Rebound in the Bearpaw shale, western Canada. Bull. of the Geological Soc. of America, September 1958, vol. 69.
- PETERSON, R., RIVARD, P.J., JASPAR, J.L., IVERSON, N.L. - Limitations of laboratory shear strength in evaluating stability of highly plastic clays. Proc. of ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils (1960), pp. 765 - 791.
- PETERSON, R. and PETERS, N. - Heave of spillway structures on clay shales. Canadian Geotechnical Journal, vol. 1, No. 1, September 1963.
- PIGOT, C.H. and MACKENZIE, I.D. - Carillon foundation studies. The Engineering Journal, E.I.C., October 1961, pp. 65 - 71.
- PIGOT, C.H. and MACKENZIE, I.D. - A method used for an in-situ bedrock shear test. Proc. 8th I.C.O.L.D., Edinburgh, 1964, Q28, R25.
- RETTIE, J.R. and PATTERSON, F.W. - Some foundation considerations at the Grand Rapids hydro-electric project. The Engineering Journal, E.I.C., December 1963, pp. 32 - 38.

- RINGHEIM, A.S. - Experiences with the Bearpaw shale at the South Saskatchewan River dam. Trans. 8th Cong. Large Dams, Edinburgh, 1964, Q28, R27.
- RIPLEY, C.F. and LEE, K.L. - Sliding friction tests on sedimentary rock specimens. Proc. 7th Int. Cong. on Large Dams, Rome, June 1961, Comm. C-8.
- ROUSSEAU, F. - Bersimis - Lac Cassé hydro-electric power development. The Engineering Journal, E.I.C., April 1956, pp. 373 - 386.
- SCHAUER, H.L. - Rationalisation de la technique des sondages pour les travaux publics. Génie Construction, octobre 1962, vol. 5, no. 10, pp. 48 - 55 + 65.
- SINCLAIR, S.R. and BROOKER, E.W. - The shear strength of Edmonton shale. Proc. Geot. Conf., Oslo, 1967, vol. 1, pp. 295 - 299.
- SLATER, W.M. - Prestressed anchors and tie-backs in greater use. Daily Commercial News and Building Record, May 24, 1967, pp. 16 - 17.
- STRANDBERG, H.V. - Design & construction features: boundary project. Journal of the Power Division ASCE, vol. 92, No. P02, April 1966, pp. 157 - 180.
- STRATTON, P. R. and BATH, C.T. - Silver Falls generating station. The Engineering Journal, E.I.C., October 1959, pp. 108 - 110, 122.
- TERRATECH LTEE. - Settlement survey of reactor building. Centrale Nucléaire de Gentilly. Rapport technique.
- THOMAS, J.A. and GROUT, R.E. - Engineering features of the Beechwood development. The Engineering Journal, E.I.C., February 1959, pp. 44 - 45, 73.
- VERRONNEAU, G.P. - Lutte contre le roc. Génie Construction, décembre 1962, vol. 5, no. 12, pp. 32 - 35.
- VERRONNEAU, G.P. - Des caissons de 60 pouces sous place Alexis Nihon. Génie Construction, avril 1966, vol. 9, no. 4, pp. 28 - 31.

VIII . LIAISON AVEC LE COMITE D-18 DE L'ASTM

SOUS-COMITE 12 (MECANIQUE DES ROCHES)

Suivant une suggestion et une recommandation faites par M. C.B. Crawford, membre de liaison entre le CCCMR et le Comité associé sur la recherche géotechnique, un contact direct a été établi entre le sous-comité nouvellement formé sur les fondations du CCCMR et le sous-comité 12 (mécanique des roches) du comité D-18 (Sols et roches pour l'application en Génie) de la Société Américaine des Essais et des Matériaux.

On espère, par ce contact, établir un échange régulier d'information entre les deux sous-comités en vue de coordonner l'expérience et d'éviter la duplication en matière de recherche dans des domaines d'intérêt commun.

Nous donnons dans les pages qui suivent l'étendue des activités du sous-comité 12, Comité D-18 de l'ASTM.

MECANIQUE DES ROCHES  
Sous-comité 12, comité D-18 de l'ASTM

Etendue des activités

Le sous-comité 12 aura la responsabilité de développer ou de stimuler le développement pour le rocher par les autres sous-comités d'une nomenclature acceptable, de définitions, d'essais en laboratoire et sur place, de techniques d'échantillonnage, d'identification et de classification; de mesures statiques et dynamiques des caractéristiques efforts-déformation, de mesures de contraintes en place sous diverses conditions d'environnement de chargement et de déchargement, d'altération par les agents atmosphériques, et de tout autre genre d'altération.

Affectation des principales tâches des sections

Section 1. Classification et nomenclature. Etablir une nomenclature standard et les définitions de termes concernant la mécanique des roches. Préparer les normes pour classifier le rocher par rapport aux besoins du génie. Développer des essais simples sur place pour la classification du rocher suivant les propriétés de base requise par le génie comme la résistance à la compression, la pénétration ou dureté de rebondissement, la résistance à l'abrasion, la fragilité, et la solubilité. L'équipement pour ces essais doit être de "format de poche", solide, et doit permettre d'obtenir les résultats rapidement.

Section 2. Module de déformation. Préparer des méthodes d'essais standards pour déterminer le module de déformation des massifs rocheux en laboratoire et sur place. Le travail comprendra le choix des échantillons et de l'emplacement des essais, l'influence du fluage, de la disposition, de la foliation, des fissures et diaclases et, si c'est le cas, l'influence d'autres facteurs comme les charges dynamiques et l'influence affaiblissante des eaux d'infiltration.

Section 3. Résistance. Préparer des méthodes d'essais standards pour déterminer la résistance des massifs rocheux en laboratoire et sur place. Le travail comprendra le choix des échantillons et de l'emplacements des essais, l'influence de la foliation, des fissures et des diaclases, et, si c'est applicable, l'influence d'autres facteurs comme les charges dynamiques, le temps et les eaux d'infiltration.

Section 4. Contraintes en place. Préparer des essais standards pour déterminer les contraintes en place dans les massifs rocheux. Le travail comprendra la détermination des relations effort-déformation du rocher placé en profondeur dans le massif, aussi bien que de celui exposé par suite d'excavation.

Section 5. Renforcement du rocher. Préparer des méthodes d'essais standards pour évaluer le boulonnage du rocher en laboratoire et sur place. Le travail comprendra les devis techniques pour le boulonnage du rocher et les méthodes d'essais pour déterminer la résistance des ancrages à la traction, le rapport torsion-tension et la perte du couple. Etudier les facteurs influençant les normes requises portant sur le diamètre des boulons, leur longueur et leur espacement. On prendra aussi en considération le treillis métallique de protection et les étrésillons supportés par les boulons.

### IX. RECOMMANDATIONS

Par la révision qui précède, on peut voir qu'en dépit des efforts de recherche valables et des réalisations obtenues ou en cours dans ce domaine au Canada, la majorité des ingénieurs intéressés aux fondations dans le rocher considèrent qu'il reste encore beaucoup à faire pour mettre au point des critères de conception clairs et pratiques. On recommande en particulier que les efforts de recherche soient dirigés vers l'établissement de critères conduisant à une conception plus valable et plus pratique dans les domaines suivants:

- des pieux porteurs et des caissons forés dans le rocher, qui tiendrait davantage compte de l'effet sur le transfert de charge du type du rocher, de ses faiblesses et du temps.
- de la planification et de la stabilisation des excavations dans le rocher par boulonnage, ancrage, injection et gunitage, tout en tenant compte du mode de rupture et de la perte de précontrainte avec le temps dans les boulons et dans les ancrages et des effets des méthodes de dynamitage sur la stabilité des excavations dans le rocher.
- de l'imperméabilisation du roc fracturé par injection.

Pour fournir des renseignements sur les sujets ci-haut mentionnés, les études doivent être faites sur:

- des techniques améliorées d'investigation du rocher en place.
- une méthode standard ou un système de description et de classification des massifs rocheux en place.
- l'application des principes de statistique au relevé des traits structuraux géologiques et à la détermination de la résistance des massifs rocheux sur place.

En ce qui concerne le Code national du bâtiment, on considère qu'une modification est nécessaire, mais ne peut être réalisée que par une recherche coordonnée intensive. En particulier, il est souhaitable que, dans le Code, la force portante permise soit éventuellement exprimée comme une fonction des propriétés du massif rocheux.

REMERCIEMENTS

Les membres du sous-comité remercient chaleureusement les personnes et les organismes dont les noms suivent qui ont fourni, en répondant au questionnaire, la plupart des données et des suggestions comprises dans ce rapport.

<u>Nom</u>	<u>Appartenance à</u>
P.C. Aitcin	Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Qué.
I. Bain	University of British Columbia, Vancouver, B.C.
I. Botteron	Université de Québec, Montréal, Qué.
K.N. Burn	National Research Council, Ottawa, Ont.
P.N. Calder	Queen's University, Kingston, Ont.
F.L. Casey	Mining Research Centre, Ottawa, Ont.
D.F. Coates	Mining Research Centre, Ottawa, Ont.
W. Comeau	Hydro-Québec, Montréal.
W.J. Eden	National Research Council, Ottawa.
Z. Eiler	Hydro-Electric Power Commission of Ontario.
W.D. Liam Finn	University of British Columbia, Vancouver, B.C.
V. Hucka	Université Laval, Québec, Qué.
G.T. Hughes	University of Saskatchewan, Regina, Sask.
N. L. Iverson	Dept. of Agriculture, P.F.R.A., Saskatoon, Sask.
N.L. Journeaux	Warnock-Hersey International Ltd., Montreal, Que.



L. Lachance	A.B.B.D.L., Montréal, Qué.
E.Z. Lajtai	University of New Brunswick, Fredericton, N.B.
P. LeComte	Hydro-Québec, Montréal, Qué.
R.W. Leigh	Rio Algom Mines Ltd., Toronto, Ont.
J.G. Locker	Royal Military College, Kingston, Ont.
I.D. MacKenzie	The Shawinigan Engineering Co., Montreal, Que.
V.I. McCallum	Falconbridge Nickel Mines Ltd., Toronto, Ont.
H.W. McFarlane	University of New Brunswick, Fredericton, N.B.
G.G. Meyerhof	Nova Scotia Technical College, Halifax, N.S.
D. Milovic	Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Qué.
J.D. Morton	University of Toronto, Toronto, Ont.
F.H. Mylrea	Caseco Consultants, Vancouver, B.C.
D.J. Naylor	C.B.A. Engineering Ltd., Vancouver, B.C.
T.H. Patching	University of Alberta, Edmonton, Alta.
A.L.T. Phukan	Université Laval, Québec, Qué.
A.S. Ringheim	Dept. of Agriculture, P.F.R.A., Regina, Sask.
G.Y. Sebastyan	Dept. of Transport, Ottawa, Ont.
C. Senneville	Terratech, Ltée., Montréal, Qué.
W.M. Slater	Conenco International Ltd. and W.M. Slater Associates, Don Mills, Ont.

A.G. Stermac

Dept. of Highways of Ontario,  
Downsview, Ont.

L. Wolofsky

Acres International Ltd.,  
Niagara Falls, Ont.

Groupes de recherche et organisations

- A.B.B.D.L., Montréal.
  - Dept. of Public Works of Canada,  
Testing Lab., Ottawa.
  - Department of Transport, Ottawa.
  - Hydro-Québec, Montréal.
  - Prairie Farm Rehabilitation Administration,  
Canada Department of Agriculture,  
Saskatoon, Sask.
  - Section: Mécanique des roches,  
Ecole Polytechnique, Montréal.
  - Terratech, Ltée.,  
Montréal.
  - Wm. Trow Assoc.,  
Hamilton, Ont.
-

DEPARTEMENT DE  
GENIE MINIER



ÉCOLE POLYTECHNIQUE

TÉL. 739-2451  
2500, AVE MARIE-GUYARD  
MONTREAL 26  
CANADA

SOUS-COMITE: FONDATIONS EN ROCHER

du Comité Consultatif Canadien de la Mécanique des Roches

le 29 avril 1969.

A tous les membres du "Groupe Canadien d'Etude de la Mécanique des roches" et de la "Section canadienne de la Société Internationale de la mécanique des sols et des travaux de fondations".

Monsieur,

Le Comité Consultatif Canadien de la Mécanique des Roches vient d'établir un Sous-comité dont le but est d'étudier ce qui est réalisé au Canada dans ce domaine et d'en tirer les directions à prendre pour la recherche la plus appropriée à la solution des problèmes actuels.

Ce Sous-comité s'est assigné comme première tâche l'accumulation de faits et de renseignements sur ce qui se fait actuellement au Canada dans le domaine des fondations en rocher.

Dans ce but, les membres du sous-comité ont déjà entrepris de faire une étude bibliographique sur les travaux publiés au Canada. Ils ont décidé de plus d'envoyer le questionnaire ci-joint à tous les membres du "Groupe Canadien d'Etude de la Mécanique des Roches" et de la "Section Canadienne de la Société Internationale de la Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations".

Le sous-comité espère de cette façon obtenir des informations supplémentaires sur les travaux importants réalisés au pays dans ce domaine mais aussi et surtout, sonder l'opinion des ingénieurs praticiens et des chercheurs intéressés sur ce que devraient être les priorités de recherche dans ce domaine à la fois aux points de vue pratique et théorique.

Vu l'importance de ce travail dans la planification de la recherche en Mécanique des Roches au Canada, ce sous-comité vous serait très obligé si vous pouviez lui fournir les renseignements demandés en lui retournant ce questionnaire avant le 1er juin 1969.

Les membres du Sous-comité Fondations vous remercient à l'avance pour votre collaboration.

Votre tout dévoué,

*B. Ladanyi*

Professeur Branko Ladanyi,  
Président du Sous-comité: Fondations  
en Rocher du CCCMR.

COMITE CONSULTATIF CANADIEN DE MECANIQUE DES ROCHES

SOUSCOMITE: FONDATIONS EN ROCHER

QUESTIONNAIRE

SUR L'ETAT ACTUEL DANS LE DOMAINE DE LA RECHERCHE ET D'ETUDES  
DES FONDATIONS EN ROCHER \*

NOM: \_\_\_\_\_

ADRESSE: \_\_\_\_\_

OCCUPATION: \_\_\_\_\_

- A. Vos publications et rapports dans ce domaine à partir de 1950.  
(Auteurs, Titre, Référence, Disponibilité)
- B. Travail actif de thèse de maîtrise ou de doctorat, ou d'une recherche  
en cours dont vous avez connaissance.  
(Institution, Nom de chercheur, Sujet de recherche)
- C. Suggestions pour la recherche nécessaire,  
(Liste des problèmes à étudier par l'ordre d'importance)
- D. Suggestions pour une modification éventuelle du Code de Bâtiment  
Canadien concernant les fondations en rocher.

\* Les sujets qui intéressent particulièrement ce Souscomité sont surtout  
ceux qui touchent l'application de la mécanique des roches dans les  
domaines tels que:

- Fondations de grands barrages (méthodes, solutions, études et obser-  
vations concernant les problèmes de déformation, stabilité, renforce-  
ment et imperméabilisation).
- Fondations directes et sur pieux établies sur le rocher, tant dans le  
domaine du Génie Civil que dans celui du Génie Minier.

Le Souscomité-Fondations vous serait reconnaissant si vous  
pouviez lui retourner ce Questionnaire rempli à l'adresse ci-dessous,  
avant le 1er juin 1969.

Prof. B. Ladanyi,  
Ecole Polytechnique de Montréal  
C.P.501, Snowdon, Montréal 248, Qué.