



HAL
open science

Contribution à l'étude du mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés

Fernando Franciss

► **To cite this version:**

Fernando Franciss. Contribution à l'étude du mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés. Géologie appliquée. Université de Grenoble, 1970. Français. NNT : . tel-00814358

HAL Id: tel-00814358

<https://theses.hal.science/tel-00814358>

Submitted on 17 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

205.142
1970
1336 Doude

205142

1970

1336

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU
MOUVEMENT DE L'EAU À TRAVERS
LES MILIEUX FISSURÉS**

F. O. FRANCISS

BIBLIOTHÈQUE
GRENOBLE-SCIENCES
UNIVERSITAIRE

1970

264.1970

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE SCIENCES

Ouvrage à rendre le :

26 FEV. 1992

205142

1970

1336

Docteur Ingénieur

N° d'ordre:

THÈSES

PRÉSENTÉES

À LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR INGÉNIEUR

PAR

Fernando Olavo FRANCISS

T. 70 / 957

1ère Thèse:

**Contribution à l'Étude du Mouvement de l'Eau à
travers les Milieux Fissurés**

2ème Thèse:

**Proposition donnée par la Faculté : Géomorphologie
et Geologie du Brésil**

BIBLIOTHÈQUE
GRENOBLE SCIENCES
UNIVERSITAIRE

Soutenues le 26 Juin 1970 devant la Commission d'Examen

Messieurs

J. SARROT-REYNAULD, Professeur

Président

R. MICHEL, Professeur

Examineurs

R. CURTET, Maître de Recherches

P. RUBY, Ingénieur I.P.G.

Invité



0520393812

13881
0721
13881

FACULTE DES SCIENCES
DE GRENOBLE

LISTE DES PROFESSEURS

DOYEN HONORAIRE : Monsieur MORET
DOYEN : Monsieur BONNIER

PROFESSEURS TITULAIRES

MM. NEEL Louis	Physique Expérimentale
HEILMANN René	Chimie Organique
KRAVTCHENKO Julien	Mécanique rationnelle
CHABAUTY Claude	Calcul différentiel et intégral
BENOIT Jean	Radioélectricité
CHENE Marcel	Chimie Papetière
FELICI Noël	Electrostatique
KUNTZMANN Jean	Mathématiques Appliquées
BARBIER Reynold	Géologie Appliquée
SANTON Lucien	Mécanique des Fluides
OZENDA Paul	Botanique
FALLOT Maurice	Physique Industrielle
KOSZUL Jean-Louis	Mathématiques
GALVANI O.	Mathématiques
MOUSSA André	Chimie Nucléaire
TRAYNARD Philippe	Chimie Générale
SOUTIF Michel	Physique Générale
CRAYA Antoine	Hydrodynamique
REULOS René	Théorie des Champs
BESSON Jean	Chimie Minérale
AYANT Yves	Physique Approfondie
GALLISSOT	Mathématiques
Mlle LUTZ Elisabeth	Mathématiques
BLAMBERT Maurice	Mathématiques
BOUCHEZ Robert	Physique Nucléaire
LLIBOUTRY Louis	Géophysique
MICHEL Robert	Minéralogie et Pétrographie
BONNIER Etienne	Electrochimie et Electrometallurgie
DESSAUX Georges	Physiologie Animale
PILLET E.	Physique Industrielle et Electrotechnique
YOCOZO Jean	Physique Nucléaire Théorique
DEBELMAS Jacques	Géologie Générale

.../...

MM.	GERBER Robert	Mathématiques
	PAUTHENET R.	Electrotechnique
	VAUQUOIS Bernard	Calcul Electronique
	BARJON Robert	Physique Nucléaire
	BARBIER Jean-Claude	Physique
	SILBER R.	Mécanique des Fluides
	BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	KLEIN Joseph	Mathématiques
	VAILLANT François	Zoologie et Hydrobiologie
	ARNAUD Paul	Chimie
	SENGEL Philippe	Zoologie
	BARNOUD Fernand	Biosynthèse de la Cellulose
	BRISSONNEAU P.	Physique
	GAGNAIRE Didier	Chimie Physique
Mme	KOFLER Lucie	Botanique
	DEGRANGE Charles	Zoologie
	PEBAY-PEROULA Jean-Claude	Physique
	RASSAT André	Chimie Systématique
	DUCROS Pierre	Cristallographie Physique
	DODU Jacques	Mécanique Appliquée I. U. T.
	ANGLES D'AURIAC Paul	Mécanique des Fluides
	LACAZE Albert	Thermodynamique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.	GIDON P.	Géologie et Minéralogie
	GIRAUD P.	Géologie
	PERRET R.	Servomécanisme
Mme	BARBIER M. -J.	Electrochimie
Mme	SOUTIF J.	Physique
	COHEN Joseph	Electrotechnique
	DEPASSEL R.	Mécanique des Fluides
	GASTINEL Noël	Mathématiques Appliquées
	GLENAT René	Chimie
	BARRA Jean	Mathématiques Appliquées
	COUMES André	Electronique
	PERRIAUX Jacques	Géologie et Minéralogie
	ROBERT André	Chimie Papetière
	BIAREZ Jean	Mécanique Physique
	BONNET Georges	Electronique
	CAUQUIS Georges	Chimie Générale
	BONNETAIN Lucien	Chimie Minérale
	DEPOMMIER Pierre	Physique Nucléaire et Génie Atomique
	HACQUES Gérard	Calcul Numérique
	POLOUJADOFF Michel	Electrotechnique
Mme	KAHANE Josette	Physique
Mme	BONNIER J. -M.	Chimie
	VALENTIN Jacques	Physique
	PAYAN Jean-Jacques	Mathématiques

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	NAPP-ZINN	Botanique
	RODRIGUES Alexandre	Mathématiques Pures
	STANDING Kenneth	Physique Nucléaire

MAITRES DE CONFERENCES

MM.	LANCIA Roland	Physique Atomique
	DEPORTES C.	Chimie
Mme	BOUCHE Liane	Mathématiques
	SARROT-REYNAULD J.	Géologie Propédeutique
	KAHANE André	Physique Générale
	DOLIQUE Jean-Michel	Electronique
	BRIERE Georges	Physique
	DESRE Georges	Chimie
	LAJZEROWICZ	Physique
	BERTRANDIAS J. -P.	Mathématiques Appliquées
	LAURENT P.	Mathématiques Appliquées
Mme	BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
	LONGEQUEUE J. -P.	Physique
	SOHM Jean-Claude	Electrochimie
	ZADWORNY François	Electronique
	DURAND F.	Chimie Physique
	CARLIER Georges	Biologie Végétale
	AUBERT Georges	Physique
	DELPUECH Jean-Jacques	Chimie Organique
	PFISTER Jean-Claude	Physique
	CHIBON P.	Biologie Animale
	IDELMAN S.	Physiologie Animale
	BOUVARD Maurice	Hydrologie
	RICHARD Lucien	Botanique
	PELMONT Jean	Physiologie Animale
	BLOCH Daniel	Electrotechnique I. P.
	BOUSSARD Jean-Claude	Mathématiques Appliquées I. P.
	MOREAU René	Hydraulique I. P.
	BRUGEL L.	Energétique I. U. T.
	SIBILLE R.	Construction Mécanique I. U. T.
	ARMAND Yves	Chimie I. U. T.
	BOLLIET Louis	Informatique I. U. T.
	KUHN Gérard	Energétique I. U. T.
	GERMAIN Jean-Pierre	Construction Mécanique I. U. T.
	CONTE René	Thermodynamique
	JOLY Jean-René	Mathématiques Pures
Mlle	PIERY Yvette	Biologie Animale
	BERNARD Alain	Mathématiques Pures

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

MM. SAWCZUK A.	Mécanique des Fluides
CHEEKE John	Thermodynamique
YAMADA O.	Physique du Solide
NATR Lubomir	Biologie Végétale
NAYLOR Arch	Physique Industrielle
SILBER Léo	Radioélectricité
NOZAKI Akihiro	Mathématiques Appliquées
RUTLEDGE Joseph	Mathématiques Appliquées
DONOHU Paul	Physique Générale
EGGER Kurt	Biologie Végétale

PRÉFACE

Les résultats d'une série de travaux effectués au cours des deux dernières années sous l'orientation du Laboratoire de Géologie Appliquée du Département de Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences de Grenoble constituent le corps de la présente thèse.

La raison primordiale déterminante du choix du sujet du travail fut la constatation de l'insuffisance des connaissances actuelles concernant la théorie du mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés par rapport à l'importance de son influence sur le comportement des systèmes rocheux diaclasés.

Étant donnée la diversité des implications suscitées par le thème, peu d'objectifs auraient été atteints sans l'encouragement, l'orientation et l'aide constamment reçus.

Je voudrais tout d'abord exprimer ma reconnaissance à la Faculté des Sciences de Grenoble d'avoir accepté ma candidature au titre de Docteur Ingénieur.

Je renouvelle mes vifs remerciements à Messieurs les Professeurs R. Barbier et J. Sarrot, en témoignant ma reconnaissance pour l'excellente orientation reçue.

Je remercie Monsieur le Professeur R. Michel et Monsieur P. Ruby de leurs conseils.

Je remercie Monsieur M. Rocha de son encouragement à l'occasion de la recherche particulière réalisée au Laboratório Nacional de Engenharia Civil sous l'égide de la Fundação Calouste Gulbenkian.

Je remercie Messieurs F. Peres Rodrigues et A. Silvério pour leur judicieuse révision du texte originel.

Je remercie Messieurs A. Puccini et P. Fernandes de leur collaboration pendant le traitement des données expérimentales.

Je suis très obligé aussi à Monsieur R. Sousa, expérimentateur; à Messieurs M. Oliveira, C. Silva et B. Teixeira, dessinateurs; à Monsieur A. Duarte, technicien auxiliaire; à Messieurs A. Cortes, A. Horta et L. Benites, étudiants; à Madame L. Candeias, dactylographe.

TABLE DE MATIÈRES

Pages

- SOMMAIRE - SUMMARY - ZUSAMMENFASSUNG

- SYMBOLOGIE, UNITÉS et ABRÉVIATIONS

- INTRODUCTION

1 - REMARQUES PRÉLIMINAIRES	1
1.1 - Présentation, objectifs, niveau et limites de la thèse . .	1
1.2 - Orientation adoptée, bibliographie et informations utilisées	6
- PREMIÈRE PARTIE: APERÇU GÉNÉRAL CONCERNANT LA PERMÉABILITÉ DES MILIEUX FISSURÉS	
2 - RÉSUMÉ DES PRINCIPES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES DES SYSTÈMES EN RÉGIME STATIONNAIRE	9
2.1 - Observations préliminaires	9
2.2 - Fondements du rapport systématique entre grandeurs physiques	10
2.3 - Les systèmes en régime stationnaire	21
3 - LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE DES MILIEUX FISSURÉS	33
3.1 - Observations préliminaires	33
3.2 - Étude théorique	34
3.3 - Étude expérimentale	45

4 - ÉTUDE STATISTIQUE DE LA PERMÉABILITÉ DES MILIEUX ROCHEUX FISSURÉS	49
4.1 - Observations préliminaires	49
4.2 - Genre d'informations recueillies, paramètres estimés et recherches effectuées	50
4.3 - Résultats et conclusions	58

- DEUXIÈME PARTIE: PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE
ELECTROANALOGIQUE "SIMPLIFIÉE"

5 - NORMES ET TECHNIQUES D'EXÉCUTION DES MODELES ELECTROANALOGI- QUES "SIMPLIFIÉS"	71
5.1 - Observations préliminaires	71
5.2 - Fondements de la méthode	73
5.2.1 - Détermination du caractère des éléments unitaires	75
5.2.2 - Réalisation des modèles	79
5.2.3 - Exécution des essais	90
5.2.4 - Interprétation des résultats	91
5.2.5 - Exemples d'application	92

- CONCLUSION

6 - CONSIDÉRATIONS FINALES

- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANNEXES

- A. Méthode d'analyse et résultats des essais concernant l'étude expérimentale de la conductivité hydraulique des milieux fissurés
- B. Méthode d'analyse concernant l'étude du régime d'écoulement des essais Lugeon
- C. Résultats des essais Lugeon utilisés dans l'étude statistique de la perméabilité des milieux rocheux

SOMMAIRE

La réunion ordonnée des principes et normes conduisant à une appréciation satisfaisante du comportement hydraulique des systèmes fissurés indéformables en régime stationnaire linéaire, constitue le but majeur de la thèse actuelle.

La première partie inclut un aperçu général du caractère tensoriel de la conductivité hydraulique des milieux fissurés aussi bien qu'une analyse des résultats des essais de perméabilité dans des milieux rocheux.

La seconde partie présente une variante de la méthode électroanalogique applicable au traitement des situations indiscriminées sans restreindre la dimension cartésienne de l'analyse et sans imposer des simplifications quant à l'hétérogénéité et anisotropie des composants du système.

SUMMARY

The present thesis aims chiefly at the ordered gathering of principles and norms leading to a satisfactory appraisal of the hydraulic behaviour of undeformable fissured systems in a linear steady state.

In a first part the tensor character of the hydraulic conductivity of fissured media is generally appreciated, and an analysis of results is carried out for permeability tests in rock masses.

The second part of the thesis describes a variant of the electroanalog method which may be used to deal with indiscriminate situations without restricting the cartesian dimension of the analysis nor resorting to

simplifications as to the heterogeneity or anisotropy of the components of the system.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Hauptzweck dieser Dissertation ist die Zusammenstellung von Prinzipien und Richtlinien die zu einer genügenden Beurteilung des hydraulischen Verhaltens von unverformbaren Kluftsystem in linearen stationären Strömungsvorgängen führt.

Der erste Teil enthält eine übersichtliche Diskussion des Characters der Leitfähigkeitstensor von klüftigen Medien and auch eine Analyse der Ergebnisse von Durchlässigkeitsfeldversuchen in Felsmedien.

Der zweite Teil liegt eine Variante der elektroanalogischen Methoden vor die zu allen Zuständen anwendbar ist. Diese Variante begrenzt nicht die kartsische Dimension der Analyse und erfordert keine Vereinfachungen in Verbindung mit der Heterogenität und Anisotropie der Komponenten des Systems.

SYMBOLOGIE, UNITÉS et ABRÉVIATIONS

A_m, a_m (m^2)	-	modules superficiels des éléments unitaires
B_m, b_m (m)	-	longueurs des éléments unitaires
C_E (m/V)	-	constante de conversion de l'essai
C_M (m^2 ohm/s)	-	constante de conversion du modèle
C_f (-)	-	coefficient de forme
$C^{p,q}$ (var.)	-	concordance
\bar{D} (-)	-	déclivité moyenne
d.d.p. (var.)	-	différence de potentiel
δ	-	symbole de dérivation partielle
δ_{ij}	-	KRONECKER delta
E^p (var.)	-	grandeur extensive
e	-	module d'échelle
\bar{e} (m)	-	espacement moyen
e^p (var.)	-	grandeur extensive spécifique
f	-	symbole de correspondance fonctionnelle
f^p (var.)	-	gradient de flux
g (m/s^2)	-	accélération de la gravité
g^q (var.)	-	gradient de potentiel
H (m)	-	d.d.p. hydraulique
I (A)	-	intensité du courant
I^q (var.)	-	grandeur intensive

i^q (var.) - grandeur intensive spécifique
 I_n (var.) - invariant
 J (-) - gradient hydraulique
 j^p (var.) - densité du courant
 K (m/s) - coefficient de perméabilité
 \bar{K}_H^50 (m/s) - coefficient de perméabilité horizontale moyen pour l'horizon de 0 à 50 m de profondeur
 \bar{K}_f (m/s) - coefficient moyen de perméabilité des zones fissurées
 k (m/s) - coefficient de perméabilité d'une fissure
 L (m) - longueur
 \log - logarithme décimal
 \ln - logarithme népérien
 \bar{n} (-) - porosité moyenne
 n_m (nombre/m²) - densité des segments par module superficiel
 ν (m²/s) - viscosité cinématique
 \bar{o} (μ) - ouverture moyenne des fissures
 P (m) - profondeur
 Q (m³/s) - débit
 R (%) - indice de récupération
 $R^{q,p}$ (var.) - rigidité
 r (m) - rayon
 r (-) - rugosité relative

$r^{q,p}$ (var.) - résistivité
 $s^{p,q}$ (var.) - conductivité
 θ (var.) - tenseur
 U (v) - d.d.p. électrique
 ϕ^q (var.) - fonction "potentiel"
 Ψ^p (var.) - fonction "flux"
 $i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s,$ - indices ou exposants

1 - REMARQUES PRÉLIMINAIRES

1.1 - Présentation, objectifs, niveau et limites de la thèse

Dans la pratique moderne, le génie civil admet deux sortes d'activité parfaitement distinctes: l'activité liée au projet d'un ouvrage, sous la responsabilité des géologues et ingénieurs conseils, et l'activité liée à son exécution, sous la direction des entrepreneurs (qui inclut aussi des géologues et des ingénieurs).

La géotechnologie actuelle, comprenant la géologie appliquée, la mécanique des sols et la mécanique des roches, intervient de façon important soit dans le projet soit dans l'exécution.

Pendant le projet, la géologie appliquée établie initialement les circonstances géologiques qui conditionnent la conception de l'ouvrage et ultérieurement définit (avec l'aide des méthodes de prospection convenables) l'organisation lithologique et structurale du système ouvrage-nature. Ensuite la mécanique des sols et/ou des roches (suivant la constitution des matériaux en cause), après avoir simplifié le modèle naturel présenté par le géologue sous forme d'un modèle mécanique analogue, essaye de quantifier le comportement du système avec une certaine précision (fonction des méthodes d'analyse et de la similitude entre son modèle et les circonstances réelles), en cherchant la solution la plus économique compatible avec le maximum de sécurité possible.

Au moment de l'exécution, la géologie appliquée fournit des renseignements et avertissements concernant plusieurs problèmes de détail (parfois difficiles) qui se posent à chaque instant, tandis que la mécanique des sols et/ou des roches, en vue des conseils présentés par les géologues, prend des mesures immédiates ou modifie les méthodes de travail pour assurer le succès économique et technique de l'ouvrage.

Tandis que le projet considère seulement un nombre limité de grands problèmes, l'exécution fait face à plusieurs problèmes mineurs. De grandes difficultés pendant l'exécution seraient indice de médiocrité du projet.

Naturellement, ces situations bien divergentes conditionnent une différence notable parmi les comportements professionnels (tant du géologue que de l'ingénieur) au moment du projet et au moment de l'exécution. Dans le premier cas, l'activité professionnelle fait au maximum appel aux approximations théoriques selon les méthodes d'analyse particulières à chaque science y intervenant, alors que dans le second, prévaut l'application des normes pratiques découlant d'une expérience antérieure (acquise ou transmise).

Dans ce cadre général, cette thèse appartient au domaine de la mécanique des roches dirigé vers les besoins du projet. Son but majeur constitue la réunion des principes et méthodes conduisant à une appréciation du comportement hydraulique des milieux rocheux fissurés, soit, en exprimant d'une façon plus technique, la détermination du champ des potentiels et/ou du champ des écoulements, induits par les conditions limites. En outre, la particularisation de l'exposé présenté l'adapte entièrement à l'étude du comportement hydraulique des milieux poreux.

La théorie du mouvement de l'eau à travers les milieux perméables (fissurés ou poreux) permet la prévision et/ou le contrôle de son influence concernant les structures hydrauliques, les systèmes de drainage ou assèchement, l'exploitation des réserves d'eau souterraine, etc...

En ce qui concerne la stabilité des systèmes, l'estimation des distributions des pressions hydrodynamiques et des gradients hydrauliques prend un intérêt primordial. En particulier, en mécanique des roches, les poussées hydrodynamiques qui agissent dans les lithoclasses influencent de fa

çon décisive l'équilibre d'un massif rocheux. Toutefois, malgré leur importance, on constate encore aujourd'hui l'insuffisance des connaissances sur ce sujet. En réalité, à côté d'une vaste et précieuse littérature traitant, au cours des 15 dernières années, les propriétés statiques et dynamiques des milieux rocheux fissurés, on s'aperçoit que très peu a été fait du point de vue de l'hydraulique. Il faut avouer que cette constatation a constitué la motivation principale du présent travail.

Les difficultés essentielles se rapportant à l'appréciation des phénomènes concernant l'écoulement des fluides incompressibles à travers des milieux perméables indéformables, surviennent:

. Tout d'abord, au moment de la caractérisation différentielle de l'écoulement.

. Postérieurement, au moment de son intégration.

La caractérisation différentielle de l'écoulement constitue l'établissement de l'expression phénoménologique qui relie les variations spatiales et/ou temporelles de la grandeur du potentiel aux variations qu'elle induit dans la grandeur du flux. Dans sa forme la plus simple et mieux connue, la caractérisation différentielle du phénomène exprime l'ancienne loi empirique de Darcy, en termes mathématiques.

L'intégration de l'expression phénoménologique équivaut à trouver les solutions de l'équation différentielle en dérivées partielles de deuxième ordre qu'elle exprime (dont elle même correspond à une première intégration à moins d'une fonction) soumise aux conditions limites imposées par chaque problème particulier. Du point de vue mathématique, il s'agit de trouver les solutions d'une équation elliptique (Laplace ou Poisson) ou parabolique (Boussinesq) assujettie aux conditions limites de Neumann ou Dirichlet. Le présent travail ne considère que les situations définies par

l'équation de Laplace.

Les causes primordiales des deux genres de difficultés provient de l'extrême aléa de la distribution, de la forme et des dimensions des vi des des milieux naturels (donnant naissance à des situations irréguliè - res aussi bien à l'échelle différentielle que dans le domaine d'intégration) qui obligent à l'adoption de modèles d'analyse (mathématiques ou analogiques) éventuellement non satisfaisants.

Alors que le premier type de difficulté ne rend pas possible un discernement acceptable du phénomène perméabilité, le second complique l'éla - boration des modèles d'analyse compatibles avec la complexité des milieux naturels.

En effet, la détermination correcte du caractère du coefficient de per - méabilité qui relie les variations des grandeurs "potentiel" et "flux" dans la caractérisation différentielle du phénomène, présente des diffi - cultés gênantes. L'anisotropie des milieux naturels, en particulier cel - le des milieux fissurés, oblige à l'adoption de moyennes mathématiques plus puissants (donc moins pratiques), susceptibles d'assurer la signifi - cation physique de l'expression phénoménologique.

En plus, l'hétérogénéité des milieux naturels empêche la détermina - tion de solutions des équations différentielles qui soient entièrement valables dans le domaine d'intégration. L'emploi de solutions analytiques à valeurs multiples faisant appel à des coordonnées curvilignes pour satis - faire les équations différentielles dans le domaine d'intégration entier, rend la situation la plus décourageante possible. Seule l'utilisation des modèles discrets permet une approximation pratique des problèmes usuels.

Des thèmes spécifiques appartenant aux genres de difficultés signa - lées attirèrent l'attention de l'auteur au cours des dernières années, dont le travail actuel renferme, dans sa première partie, un aperçu gé

ral concernant la perméabilité des milieux fissurés, dans sa seconde par - tie, la présentation d'une variante de la méthode electroanalogique appli - cable à l'évaluation du comportement hydraulique des milieux perméables.

En bref, la première partie inclut:

. Un résumé des principes physiques et mathématiques qui régissent les écoulements stationnaires.

. Une étude (théorique et expérimentale) de la conductivité hydraulique des milieux fissurés.

. Une analyse des résultats des essais de perméabilité dans des mi - lieux rocheux.

Le résumé des principes physiques et mathématiques concerne principa - lement l'étude du caractère des tenseurs qui expriment les conductivités dans les expressions phénoménologiques des écoulements stationnaires.

L'étude théorique établit des normes pratiques pour la détermination du tenseur que définit le coefficient de perméabilité des milieux fissurés à partir des données provenant des relevés statistiques des diaclases. L'étu - de expérimentale fixe quelles sont les circonstances qui autorisent l'assi - milation d'un milieu fissuré à un système continu.

L'analyse statistique présente l'ampleur des distributions des valeurs des coefficients de perméabilité dans la nature. Pour permettre son examen sur une grande étendue, tant en surface qu'en profondeur, l'analyse a por - té sur des résultats des essais Lugeon concernant quelques investigations géologiques et géotechniques pour des aménagements hydrauliques (sans dou - te, les investigations les mieux conduites du point de vue rigueur et ex - tension). Accessoirement, l'étude a permis certaines implications se rap - portant à une origine probable pour les diaclases et quelques considérations pratiques sur le traitement des fondations des barrages.

La seconde partie du texte implique:

. Un exposé des normes et techniques d'utilisation de la méthode électroanalogique proposée.

. Des exemples d'application bidimensionnels et tridimensionnels.

La méthode proposée est présentée de la façon la plus générale possible concernant des modèles bidimensionnels ou tridimensionnels, avec considération du comportement individuel de chaque fissure d'un système ou avec considération de l'effet résultante de l'ensemble des fissures. Le traitement des systèmes hétérogènes et anisotropes est aussi envisagé.

Les exemples d'application ont pour principal but d'illustrer l'utilisation de la méthode. Le premier exemple établit des abaques normalisés concernant l'estimation du comportement hydraulique bidimensionnel des fondations définies par des coefficients de perméabilité variables avec la profondeur. Le second exemple estime la distribution tridimensionnelle des pressions hydrodynamiques au toit du coin d'une faille coupant la fondation prévue pour un barrage voûte, pour permettre une analyse ultérieure correcte de sa stabilité.

La compréhension de la thèse n'exige que des éléments de géologie et de mécanique des fluides. Le traitement mathématique ne dépasse pas les notions primaires de statistique appliquée et de calcul tensorial dans un espace euclidien avec des bases orthonormales (donc avec des composantes covariantes).

La totalité du travail est pratiquement limitée à l'examen de systèmes indéformables et non érodables, dans un régime linéaire.

1.2 - Orientation adoptée, bibliographie et informations utilisées

On a adopté l'orientation suivante:

. Pour que l'examen du texte soit plus facile, il présente une structure compacte.

. Pour faciliter l'interprétation et appréciation des résultats, la présentation graphique a été utilisée le plus souvent possible.

. Pour écarter les influences et inclinaisons personnelles, la totalité des informations et résultats expérimentaux a subi le traitement statistique convenable.

. Pour éviter l'introduction des erreurs de calcul, la manipulation des données a été intégralement effectuée à l'aide des ordinateurs électroniques.

. Pour aider à la compréhension du texte (pour d'éventuels lecteurs peu familiarisés avec certains sujets abordés), des exemples illustratifs ont été intercalés là où on l'a jugé nécessaire.

À la fin du texte sont rassemblées (par ordre de renvoi) les références bibliographiques effectivement consultées.

Le résumé des principes physiques et mathématiques, insérés dans le chapitre 2, est inspiré des textes de ZWIKKER et KOERBER (ref. bib. 1 et 2).

L'analyse statistique des résultats des essais de perméabilité constitue le développement de la matière d'une brève communication de l'auteur en 1968 (ref. bib. 3).

Les normes et techniques de l'analogie proposée représentent le stade actuel de la méthode annoncée par l'auteur en 1966 (ref. bib. 4).

Les informations se référant aux essais de perméabilité (annexe C), qui font partie des études géologiques et géotechniques exécutées pour 19 aménagements hydrauliques, ont été aimablement cédées par SONDOTÉCNICA EN GENHARIA DE SOLOS, S.A. (entreprise brésilienne d'études, dont le siège

est à Rio de Janeiro), avec la permission de ses clients. Les informations concernant le Barrage d'Alqueva ont été utilisées avec l'autorisation de la Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos do Ministério de Obras Públicas du Portugal.

PREMIERE PARTIE: APERÇU GÉNÉRAL CONCERNANT LA PERMÉABILITÉ
DES MILIEUX FISSURÉS

2 - RÉSUMÉ DES PRINCIPES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES DES SYSTÈMES EN RÉGIME STATIONNAIRE

2.1 - Observations préliminaires

Les écoulements d'eau en régime d'équilibre à travers des milieux fissurés, constituent des expressions particulières des phénomènes plus généraux régis par des principes physiques et mathématiques bien établis.

En conséquence, leur appréciation dans leurs termes les plus généraux permet une appréhension synthétique et intégrale de leurs différents aspects aussi bien que le traitement direct des situations complexes difficilement abordables par voie inductive.

Par la suite, en ayant pour but de faciliter la compréhension des sujets examinés, le texte renferme une séquence d'exposition par voie déductive.

Les principes énoncés résument certains aspects de la mécanique des milieux continus adaptés aux besoins immédiats.

Certes, la question importante consiste à établir quelles circonstances autorisent à assimiler les milieux poreux ou fissurés à des systèmes continus.

Tandis que l'échelle habituelle de l'examen des milieux poreux n'empêche pas une telle assimilation, les milieux fissurés ne la permettent que quand les fissures sont nombreuses et homogènes statistiquement vis-à-vis de l'espace considéré.

Toutefois, l'étude des milieux fissurés nettement discontinus exige obligatoirement le traitement individuel de chaque fissure comme étant un système continu, soumis aux conditions limites vérifiées tout au long des contours délimités par son intersection avec l'extérieur et d'autres fissures.

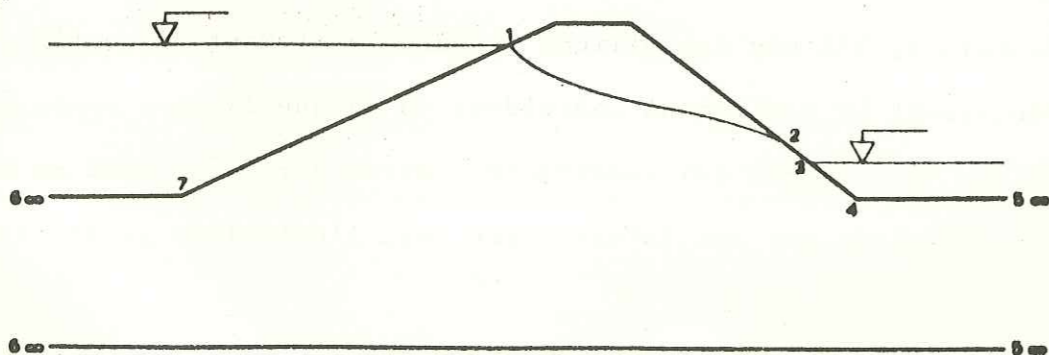
Par conséquent, les fondements généraux sont toujours retenus dans l'étude des milieux fissurés, naturellement adaptés à l'échelle convenable. Au chapitre 3, avec l'appui de données expérimentales, l'auteur essaie une première définition de la frontière acceptable pour les deux situations.

2.2 - Fondements du rapport systématique entre grandeurs physiques

Normalement, l'analyse du comportement d'un système quand il est induit par des modifications des grandeurs déterminantes de son ambiance physique (dans un régime d'équilibre thermodynamique ou stationnaire), exige l'observation de la voie suivante:

- . Identification de la quantité, nature et impositions aux limites des grandeurs qui interviennent dans le système.
- . Établissement des relations différentielles entre ces grandeurs aussi bien que de leurs expressions de compatibilité avec la nature du système.
- . Application des méthodes d'intégration des rapports différentiels soumis aux conditions aux limites.

Exemple 2.2:1 : La détermination du régime de flux bidimensionnel stationnaire linéaire à travers le corps d'un barrage isotropique et homogène (Fig. 2.2.:1), exige la séquence suivante d'opérations:



- . Identification des grandeurs: flux Ψ et potentiel ϕ
- . Établissement des relations différentielles:

$$\frac{\delta \Psi}{\delta x_i} = K \frac{\delta \phi}{\delta x_j}$$

$$\frac{\delta^2 \Psi}{\delta x_i^2} = 0$$

où

K - coefficient de perméabilité (dimensions $[LT^{-1}]$)

- . Intégration des équations différentielles sous les sujétions vérifiées aux limites 1-2, 2-3, 3-4-5, 5-6, 6-7-1.

Observation: Le texte actuel adopte la convention tensorielle suivante:

- . Les symboles non indexés indiquent des entités tensorielles (scalaires, vecteurs, tenseurs d'ordre supérieur à 1), représentées en général par θ . Quand il sera nécessaire, le texte renseignera sur l'ordre du tenseur.
- . Les symboles indexés indiquent les composantes des tenseurs par rapport aux axes coordonnés.

Exemples:

H - scalaire, tenseur d'ordre 0

V_i - vecteur, tenseur d'ordre 1

K_{ij} - tenseur d'ordre 2

- . Des indices isolés indiquent n'importe quel axe coordonné.

Exemples:

$$\begin{aligned} x_i &- x_1 \text{ ou } x_2 \text{ ou } x_3 \\ \bar{x}_m &- \bar{x}_1 \text{ ou } \bar{x}_2 \text{ ou } \bar{x}_3 \\ \underline{x}_r &- \underline{x}_1 \text{ ou } \underline{x}_2 \text{ ou } \underline{x}_3 \end{aligned}$$

. Des indices différents en double indiquent n'importe quelle séquence coordonnée:

Exemples:

$$x_i x_j = \begin{matrix} x_1^2 & \text{ou} & x_1 x_2 & \text{ou} & x_1 x_3 \\ x_2 x_1 & \text{ou} & x_2^2 & \text{ou} & x_2 x_3 \\ x_3 x_1 & \text{ou} & x_3 x_2 & \text{ou} & x_3^2 \end{matrix}$$

$$\bar{K}_{mn} = \begin{matrix} \bar{K}_{11} & \text{ou} & \bar{K}_{12} & \text{ou} & \bar{K}_{13} \\ \bar{K}_{21} & \text{ou} & \bar{K}_{22} & \text{ou} & \bar{K}_{23} \\ \bar{K}_{31} & \text{ou} & \bar{K}_{32} & \text{ou} & \bar{K}_{33} \end{matrix}$$

. Des indices égaux en double indiquent une sommation dans la séquence coordonnée (convention d'Einstein, des indices muets):

Exemples:

$$x_i x_i = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$$

$$\frac{\delta x_i}{\delta y_i} = \frac{\delta x_1}{\delta y_1} + \frac{\delta x_2}{\delta y_2} + \frac{\delta x_3}{\delta y_3}$$

$$y_i = a_{ij} x_j = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + a_{i3} x_3$$

La totalité des grandeurs physiques qui agissent sur les systèmes arrive invariablement sous forme de paires associées, désignées symboliquement par I^q et E^p , dont les produits ont toujours les dimensions d'une énergie (sous ses formes variées d'expression).

Les paramètres I^q , dénommés intensifs, conditionnent l'ambiance physique du système, alors que les paramètres E^p , dénommés extensifs, traduisent les réactions ou reflètent les impositions des matériaux qui les

composent aux variations de l'ambiance.

Quand ils sont rapportés à des dimensions unitaires, les paramètres intensifs et extensifs reçoivent la désignation complémentaire de "spécifiques", étant symbolisés par i^q et e^p .

Tant i^q que e^p constituent des grandeurs tensorielles dont l'ordre est compatible avec l'expression phénoménologique de l'effet physique caractérisé. Les exposants symboliques p et q indiquent la nature des grandeurs qui interviennent dans le système.

Exemple 2.2:2 : Le tableau suivant réunit des exemples de paires de paramètres i^q et e^p avec l'indication de leur nature et de leur ordre tensoriel. Il faut ajouter qu'un tenseur d'ordre r possède 3^r composantes dans un espace tridimensionnel.

Nature et Symbologie i^q, e^p		Ord. Tens.
Temperature T	- Entropie S	0
Int. Champ. Magn. M_i	- Ind. Magn. B_j	1
Contrainte σ_{mn}	- Deform. Specif. ϵ_{ij}	2

Généralement, n paires i^q et e^p sollicitent simultanément un même système physique. Dans ce cas, quand ils accusent une interdépendance approximativement linéaire (dans le domaine d'intérêt), le comportement du système est régi par n relations différentielles, symbolisées par:

$$[de^p] = [C^{p,c}] [di^q] \quad (p, q = 1, 2 \dots n)$$

ou

$$[di^q] = [R^{q,p}] [de^p] \quad (q, p = 1, 2 \dots n)$$

Les éléments $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$, dénommés par ZWIKKER concordances et rigidités, sont définis par:

$$C^{p,q} = \frac{\delta e^p}{\delta i^q} \quad e^p \neq e^n = c^te$$

$$R^{q,p} = \frac{\delta i^q}{\delta e^p} \quad i^q \neq i^n = c^te$$

Afin d'être fonctionnellement compatibles avec les ordres r et s des paramètres e^p et i^q , les éléments $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ constituent des tenseurs d'ordre $r+s$.

En plus, les termes des sommations:

$$[de^p] = [C^{p,1} di^1 + C^{p,2} di^2 + \dots + C^{p,n} di^n] \quad (p = 1, 2 \dots n)$$

$$[di^q] = [R^{q,1} de^1 + R^{q,2} de^2 + \dots + R^{q,n} de^n] \quad (q = 1, 2 \dots n)$$

symbolisent des opérations tensorielles adéquates (contractions, doubles contractions, etc. ...), parmi les éléments $C^{p,q}$, di^q et $R^{q,p}$, de^p , toujours compatibles avec l'ordre des tenseurs résultants.

Entre les matrices $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ prévalent les relations:

$$[C^{p,q}] = [R^{q,p}]^{-1}$$

$$[R^{q,p}] = [C^{p,q}]^{-1}$$

Puisque les éléments $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ indiquent des tenseurs de n'importe quel ordre, l'inversion matricielle est purement symbolique.

Les éléments $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$, situés dans la première diagonale des matrices $[C^{p,q}]$ et $[R^{q,p}]$, expriment l'interaction des paramètres i^q et e^p associés (effets primaires). Les éléments restants expriment des effets secondaires. Il faut ajouter que des raisons d'ordre thermodynamique (ZWIKKER, ref. bib. 1, chap. V) conditionnent la symétrie des matrices $[C^{p,q}]$ et $[R^{q,p}]$.

Exemple 2.2.3 : En considérant un système soumis exclusivement aux paires i^q, e^p :

Température T , Entropie S

Contraintes σ , Def. Specif. ε

son comportement est régi par les équations différentielles linéaires

$$dS = C^{S,T} dT + C^{S,\sigma} : d\sigma$$

$$d\varepsilon = C^{\varepsilon,T} dT + C^{\varepsilon,\sigma} : d\sigma$$

ou

$$dT = R^{T,S} dS + R^{T,\varepsilon} : d\varepsilon$$

$$d\sigma = R^{\sigma,S} dS + R^{\sigma,\varepsilon} : d\varepsilon$$

Puisque T, S et σ, ε constituent respectivement des tenseurs d'ordre 0 et 2, les concordances $C^{p,q}$ et les rigidités $R^{q,p}$ assument les ordres suivants.

$$C^{S,T} = \frac{\delta S}{\delta T} \quad \text{et} \quad R^{T,S} = \frac{\delta T}{\delta S} \quad - \text{ordre } 0$$

$$C^{S,\sigma} = \frac{\delta S}{\delta \sigma} \quad \text{et} \quad R^{\sigma,S} = \frac{\delta \sigma}{\delta S} \quad - \text{ordre } 2$$

$$C^{\varepsilon,\sigma} = \frac{\delta \varepsilon}{\delta \sigma} \quad \text{et} \quad R^{\sigma,\varepsilon} = \frac{\delta \sigma}{\delta \varepsilon} \quad - \text{ordre } 4$$

Les termes des sommations correspondent aux opérations tensorielles suivantes:

$$C^{S,T} dT \quad \text{et} \quad R^{T,S} dS \quad - \text{simple produit}$$

$$C^{S,\sigma} : d\sigma \quad \text{et} \quad R^{\sigma,S} : dS \quad - \text{contraction double}$$

$$C^{\varepsilon,T} dT \quad \text{et} \quad R^{\sigma,S} dS \quad - \text{simple produit}$$

$$C^{\varepsilon,\sigma} : d\sigma \quad \text{et} \quad R^{\sigma,\varepsilon} : d\varepsilon \quad - \text{contraction double}$$

Les matrices $[C^{p,q}]$ et $[R^{q,p}]$ acquièrent les aspects:

$$\begin{bmatrix} C^{S,T} & C^{S,\sigma} \\ C^{\varepsilon,T} & C^{\varepsilon,\sigma} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R^{T,S} & R^{T,\varepsilon} \\ R^{\sigma,S} & R^{\sigma,\varepsilon} \end{bmatrix}$$

où les éléments $C^{S,T}$, $C^{\varepsilon,\sigma}$ et $R^{T,S}$, $R^{\sigma,\varepsilon}$ expriment les effets primaires tandis que $C^{S,\sigma}$, $C^{\varepsilon,T}$ et $R^{T,\varepsilon}$, $R^{\sigma,S}$ reflètent les effets secondaires.

En plus, la symétrie des matrices $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ exige:

$$C^{S,\sigma} = C^{\varepsilon,T} \quad R^{T,\varepsilon} = R^{\sigma,S}$$

Les concordances et/ou les rigidités traduisent les propriétés des matériaux qui constituent les systèmes physiques envers les paires de paramètres intensifs ou extensifs qui les sollicitent.

Par rapport aux caractères des composantes des systèmes, on observe ce qui suit:

i) Des systèmes à hétérogénéité continue, définis par un changement graduel de leurs propriétés, admettent (à une échelle compatible avec la nature de leur hétérogénéité) $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ invariables, symbolisés génériquement par un tenseur Θ .

Éventuellement, la considération de référentiels mutables, définis par des vecteurs unitaires variables fonctionnellement rapportés à une référence fixe arbitraire, permet d'opérer avec un nouveau système fictif, transformé du primitif, défini par des propriétés permanentes (Θ invariable). Toutefois, un tel procédé crée habituellement des situations peu attirantes pendant le traitement mathématique du problème.

ii) Des systèmes à hétérogénéité discontinue exigent l'isolement et le traitement individuel de leurs parties continues, en tenant compte des ruptures d'équilibre thermodynamique vérifiées aux contacts transitionnels.

iii) Des systèmes physiquement homogènes (isotropes et anisotropes, en termes statistiquement relatifs) admettent des propriétés $C^{p,q}$ et $R^{q,p}$ (tenseurs Θ) invariables.

Plus la symétrie d'un système est élevée, plus son degré d'anisotropie est réduit, plus la simplicité des tenseurs Θ ($C^{p,q}$ et $R^{q,p}$) est élevée, traduite par une quantité plus grande de composantes nulles ou égales entre elles.

Pour un système défini par les transformations de symétrie (rotations et réflexions):

$$\bar{x}_m = a_{mi} x_i$$

où:

x_i - coordonnées dans un référentiel original

\bar{x}_m - coordonnées dans référentiel transformé pour lequel le caractère du système reste identique au primitif

a_{mi} - cosinus directeurs des axes m par rapport aux axes i

la détermination du caractère de leurs tenseurs Θ résulte de l'application du principe de NEUMANN à leurs composantes $\Theta_{ijk\dots}$. Ce principe établit l'indépendance:

$$\bar{\Theta}_{mno\dots} = \Theta_{ijk\dots}$$

pour des transformations équivalentes aux transformations de symétrie,

$$\bar{\Theta}_{mno\dots} = a_{mi} a_{nj} a_{ok} \dots \Theta_{ijk\dots}$$

Observation : Les transformations inverses sont:

$$x_i = a_{im} \bar{x}_m$$

$$\Theta_{ijk\dots} = a_{im} a_{jn} a_{ko} \dots \bar{\Theta}_{mno\dots}$$

Exemple 2.2:4 : Si l'on considère un système élastique soumis exclusivement aux paramètres intensifs et extensifs, contraintes σ_{mn} et déformations spécifiques ε_{ij} (σ_{mn} signifiant contraintes normales quand $m = n$ ou tangentiels quand $m \neq n$; ε_{ij} signifiant dilatations linéaires quand $i = j$ et glissements unitaires quand $i \neq j$), tous les deux tenseurs d'ordre 2, le tenseur rigidité, symbolisé par θ , est défini par le rapport différentiel:

$$\theta_{mnij} = \frac{\delta \sigma_{mn}}{\delta \varepsilon_{ij}}$$

avec forcément l'ordre 4 et $3^4 = 81$ composantes.

L'interdépendance σ - ε s'exprime par une double contraction:

$$\sigma_{mn} = \theta_{mnij} : \varepsilon_{ij}$$

La symétrie du tenseur θ_{mnij} ($mnij = mnji$, $mnij = nmij$, $mnij = ijmn$) réduit la quantité maximum des composantes non nulles à 36 (dont 21 inégales). Dans ce cas, l'interdépendance σ - ε , se simplifie vers une contraction simple dans un espace hexadimensionnel par les vecteurs σ_m , ε_i et un tenseur θ_{mi} d'ordre 2. En modifiant la symbologie:

$$\sigma_{11} = \sigma_1 \quad \sigma_{32} = \sigma_{23} = \tau_4$$

$$\sigma_{22} = \sigma_2 \quad \sigma_{13} = \sigma_{31} = \tau_5$$

$$\sigma_{33} = \sigma_3 \quad \sigma_{21} = \sigma_{12} = \tau_6$$

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_1 \quad \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32} = \gamma_4/2$$

$$\varepsilon_{22} = \varepsilon_2 \quad \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31} = \gamma_5/2$$

$$\varepsilon_{33} = \varepsilon_3 \quad \varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = \gamma_6/2$$

le rapport prend la forme matricielle:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \\ \tau_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} & \theta_{15} & \theta_{16} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & \theta_{24} & \theta_{25} & \theta_{26} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} & \theta_{35} & \theta_{36} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} & \theta_{45} & \theta_{46} \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} & \theta_{55} & \theta_{56} \\ \theta_{61} & \theta_{62} & \theta_{63} & \theta_{64} & \theta_{65} & \theta_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \\ \gamma_6 \end{pmatrix}$$

Si l'on considère un système avec symétrie orthorhombique (défini par 3 plans triorthogonaux de symétrie), l'application du principe de NEUMANN simplifie la matrice θ_{mi} (avec 9 composantes inégales):

$$\begin{pmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{23} & \theta_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \theta_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{66} \end{pmatrix}$$

Pour un système orthorhombique, parmi les modules techniques:

E - module de YOUNG

ν - coefficient de POISSON

G - module de déformation par glissement

et les composants θ_{mi} , prévalent les 12 relations linéaires (dont 9 seulement indépendantes):

$$\begin{aligned} \Theta_{m1} - \nu_{21} \Theta_{m2} - \nu_{31} \Theta_{m3} &= \delta_{m1} E_m \\ - \nu_{12} \Theta_{m1} + \Theta_{m2} - \nu_{32} \Theta_{m3} &= \delta_{m2} E_m \quad (m = 1, 2, 3) \\ - \nu_{13} \Theta_{m1} - \nu_{21} \Theta_{m2} + \Theta_{m3} &= \delta_{m3} E_m \\ \Theta_{mm} &= G_{m-3} \quad (m = 4, 5, 6) \end{aligned}$$

avec $\delta_{mi} = 1$ quando $m = i$ et $\delta_{mi} = 0$ quand $m \neq i$.

Il faut toujours signaler la différence essentielle entre les modules E_m et les composantes Θ_{mm} . Alors que:

$$E_m = \frac{\delta \sigma_m}{\delta \varepsilon_m}$$

avec les $\sigma_n \neq \sigma_m$ contraintes invariables, pour:

$$\Theta_{mm} = \frac{\delta \sigma_m}{\delta \varepsilon_m}$$

les $\varepsilon_n \neq \varepsilon_m$ déformations spécifiques restent constantes.

Finalement, il faut noter l'occurrence de phénomènes dont le comportement n'est pas linéaire, susceptibles d'être simulés par une approximation par séries du type:

$$[de^p] = \left[C_o^{p,q} + \frac{\delta C_o^{p,q}}{\delta i^q} i^q \right] [di^q] + \dots$$

$$[di^q] = \left[R_o^{q,p} + \frac{\delta R_o^{q,p}}{\delta e^p} e^p \right] [de^p] + \dots$$

où l'indice o indique l'origine de l'approximation.

Tandis que les relations linéaires traduisent la prédominance d'un genre unique d'effet provoqué par les variations des paramètres intensifs i^q , la correspondance non linéaire exprime la résultante de plusieurs genres d'effets.

Pour des raisons d'ordre pratique, on utilise des relations expérimentales du type:

$$[e^p] = [C^{p,q}] [(i^q)^\alpha]$$

$$[i^q] = [R^{q,p}] [(e^p)^\beta]$$

où α et β sont exposants définis expérimentalement.

Exemple 2.2:5 : Le comportement d'un corps élastique non linéaire admet, pour un certain intervalle des variations des contraintes σ , le rapport approché

$$\sigma = E \varepsilon^\beta$$

où:

- σ - contrainte
- ε - déformation spécifique
- E - module de déformation
- β - exposant expérimental

2.3 - Les systèmes en régime stationnaire

Les systèmes en régime stationnaire qualifient des situations observant les conditions suivantes:

i) Leurs paramètres intensifs i^q et extensifs e^p constituent des grandeurs scalaires variables dénommées respectivement fonctions "potentiels" ϕ^q et fonctions "flux" Ψ^p , dépendantes des coordonnées x_i :

$$\phi^q = f(x_i)$$

$$\Psi^p = f(x_i)$$

où le symbole f indique une correspondance fonctionnelle.

ii) Les gradients des fonctions ϕ^q et Ψ^p (leurs dérivées par rapport au vecteur position x_i) :

$$g_i^q = \frac{\delta \phi^q}{\delta x_i}$$

$$f_i^p = \frac{\delta \Psi^p}{\delta x_i}$$

définissent des grandeurs vectorielles (car ils constituent des dérivées des tenseurs d'ordre 0 par rapport à des tenseurs d'ordre 1), intemporelles, respectivement dénommées: gradients de potentiel et gradients de flux.

Les surfaces qui correspondent à des valeurs ϕ^q et Ψ^p constantes, reçoivent respectivement les designations de surfaces équipotentielles et surfaces d'écoulement.

Alors que chaque potentiel q admet une seule correspondance fonctionnelle par rapport à la référence x_i :

$$\phi^q = f(x_i)$$

chaque flux p admet plusieurs genres de correspondances (toutefois en définissant le même phénomène):

$$\Psi_1^p = f_1(x_i)$$

$$\Psi_2^p = f_2(x_i)$$

.....

$$\Psi_n^p = f_n(x_i)$$

dont les expressions analytiques particulières correspondent à plusieurs (1,2 ... n) types (formes) des surfaces d'écoulement compatibles avec le régime stationnaire caractérisé.

Bien que les gradients:

$$f_{1i}^p = \frac{\delta \Psi_1^p}{\delta x_i}$$

$$f_{2i}^p = \frac{\delta \Psi_2^p}{\delta x_i}$$

.....

$$f_{ni}^p = \frac{\delta \Psi_n^p}{\delta x_i}$$

soient distincts, les produits vectoriels de 2 gradients arbitraires f_g^p , f_h^p :

$$j^p = f_g^p \times f_h^p$$

résultent invariablement dans la même grandeur j^p , intemporelle, dénommée génériquement densité de courant.

Tandis que les gradients de potentiel g^q expriment des consommations de l'énergie q , les densités de courant traduisent des écoulements de la grandeur p . Les produits $j^p g^q$ sont toujours caractérisés par les dimensions d'une dissipation spécifique d'énergie.

Exemple 2.3:1 : En considérant un hémisphère thermoconducteur, assujéti à un potentiel thermique T appliqué entre son origine O et sa calotte extérieure C (Fig. 2.3:1), deux surfaces possibles d'écoulement (plans méridiens et cônes axisymétriques, fig. 2.3:1) rendent possible d'établir deux modalités d'expression analytique pour le flux entropique S .

La densité du courant entropique j^s résulte du produit vectoriel des gradients f_p^s et f_c^s , respectivement normaux aux plans et aux cônes d'écoulement.

Les surfaces équipotentielles correspondent à des calottes concentriques avec des gradients thermiques g^T selon leurs normales

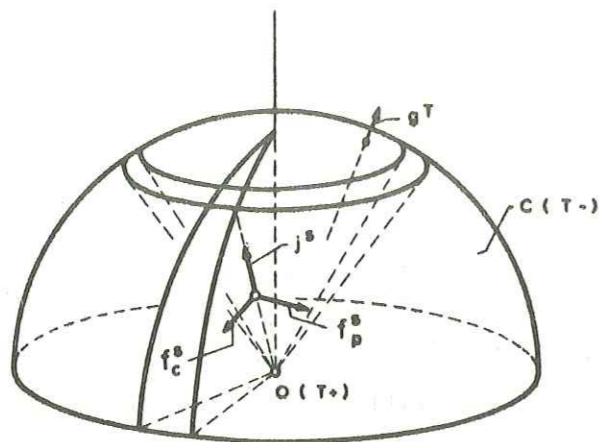


Fig. 2.3:1

Quand il existe une interdépendance approximativement linéaire des paires j^p, g^q (dans le domaine d'intérêt), le comportement du système est régi par n équations linéaires:

$$[j^p] = [s^{p,q}] [g^q] \quad (p, q = 1, 2 \dots n)$$

$$[g^q] = [r^{q,p}] [j^p] \quad (q, p = 1, 2 \dots n)$$

les éléments $s^{p,q}$ et $r^{q,p}$ étant définis par:

$$s^{p,q} = \left(\frac{\delta f^p}{\delta g^q} \right)_{f^p \neq f^n} = c^{te}$$

$$r^{q,p} = \left(\frac{\delta g^q}{\delta f^p} \right)_{g^q \neq g^n} = c^{te}$$

Pour les éléments $s^{p,q}$ et $r^{q,p}$, suggestivement dénommés conductivités et résistivités, prévalent les considérations analytiques applicables aux concordances $C^{p,q}$ et rigidités $R^{q,p}$.

Exemple 2.3:2 : Un système soumis simultanément à des gradients thermiques g^T et voltaïques g^U accuse des courants entropiques j^S et électriques j^E régis par les équations:

$$j^E = s^{E,U} g^U + s^{E,T} g^T$$

$$j^S = s^{S,U} g^U + s^{S,T} g^T$$

où:

$s^{E,U}$ - conductivité électrique

$s^{S,T}$ - conductivité thermique

$s^{E,T} = s^{S,U}$ - conductivité thermoélectrique

Les considérations les plus importantes applicables aux tenseurs $s^{p,q}$ et $r^{q,p}$, symbolisés génériquement par Θ , sont résumées à la suite.

Pour des matériaux homogènes et anisotropes, les composantes Θ_{ij} du tenseur Θ par rapport à un référentiel arbitraire x_i sont habituellement présentées sous forme matricielle:

$$[\Theta_{ij}]$$

Pour un nouveau référentiel \bar{x}_m , ses nouvelles composantes:

$$[\bar{\Theta}_{mn}]$$

résultent des transformations:

$$\bar{\Theta}_{mn} = a_{mi} a_{nj} \Theta_{ij}$$

ou, a_{mi}, a_{nj} sont les cosinus directeurs des axes m, n par rapport aux axes i, j .

Il existe toujours un référentiel particulier \bar{x}_m , pour lequel:

$$[\bar{\Theta}_{mn}] = \begin{vmatrix} \bar{\Theta}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{\Theta}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\Theta}_3 \end{vmatrix}$$

où les valeurs principales $\bar{\theta}_m$ constituent les racines (réelles parce que $\theta_{ij} = \theta_{ji}$) de l'équation du 3^{ème} degré:

$$[\theta_{mn} - \delta_{mn}\bar{\theta}_m] = \begin{vmatrix} (\theta_{11} - \bar{\theta}_m) & \theta_{12} & \theta_{13} \\ \theta_{21} & (\theta_{22} - \bar{\theta}_m) & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & (\theta_{33} - \bar{\theta}_m) \end{vmatrix} = 0$$

où:

$$\bar{\theta}_m^3 - I_1 \bar{\theta}_m^2 - I_2 \bar{\theta}_m - I_3 = 0$$

I_1, I_2 et I_3 étant dénommés les invariants du tenseur θ , définis par:

$$I_1 = \theta_{11} + \theta_{22} + \theta_{33}$$

$$I_2 = - \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{32} & \theta_{33} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \theta_{33} & \theta_{31} \\ \theta_{13} & \theta_{11} \end{vmatrix}$$

$$I_3 = \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \end{vmatrix}$$

La détermination des cosinus directeurs a_{mi} pour chaque valeur principale $\bar{\theta}_m$ exige la résolution du système de 9 équations:

$$\begin{aligned} (\theta_{11} - \bar{\theta}_m) a_{m1} + \theta_{12} a_{m2} + \theta_{13} a_{m3} &= 0 \\ \theta_{21} a_{m1} + (\theta_{22} - \bar{\theta}_m) a_{m2} + \theta_{23} a_{m3} &= 0 \quad (m = 1, 2, 3) \\ a_{m1}^2 + a_{m2}^2 + a_{m3}^2 &= 1 \end{aligned}$$

A 2 dimensions les expressions antérieures prennent la forme:

$$\begin{vmatrix} (\theta_{11} - \bar{\theta}_m) & \theta_{12} \\ \theta_{21} & (\theta_{22} - \bar{\theta}_m) \end{vmatrix} = 0$$

où

$$\bar{\theta}_m^2 - I_1 \bar{\theta}_m - I_2 = 0$$

étant:

$$I_1 = \theta_{11} + \theta_{22}$$

$$I_2 = - \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{vmatrix}$$

et:

$$\begin{aligned} (\theta_{11} - \bar{\theta}_m) a_{m1} + \theta_{12} a_{m2} &= 0 \\ a_{m1}^2 + a_{m2}^2 &= 1 \end{aligned} \quad (m = 1, 2)$$

La théorie de la transformation d'un tenseur symétrique de rang 2 est identique à la théorie de la transformation d'une quadrique. Donc, par rapport au référentiel x_i , les composantes θ_{ij} constituent les coefficients de l'ellipsoïde:

$$\theta_{ij} x_i x_j = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{bmatrix} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} = 1$$

où:

$$\theta_{11} x_1^2 + \theta_{22} x_2^2 + \theta_{33} x_3^2 + 2\theta_{12} x_1 x_2 + 2\theta_{23} x_2 x_3 + 2\theta_{31} x_3 x_1 = 1$$

Par rapport au référentiel \bar{x}_m , l'équation de la quadrique générale

prend la forme simple:

$$\bar{\theta}_m \bar{x}_m^2 = \bar{\theta}_1 \bar{x}_1^2 + \bar{\theta}_2 \bar{x}_2^2 + \bar{\theta}_3 \bar{x}_3^2 = 1$$

dont les longueurs des demi-axes sont $\bar{\theta}_m^{-1/2}$ (Fig. 2.3:2)

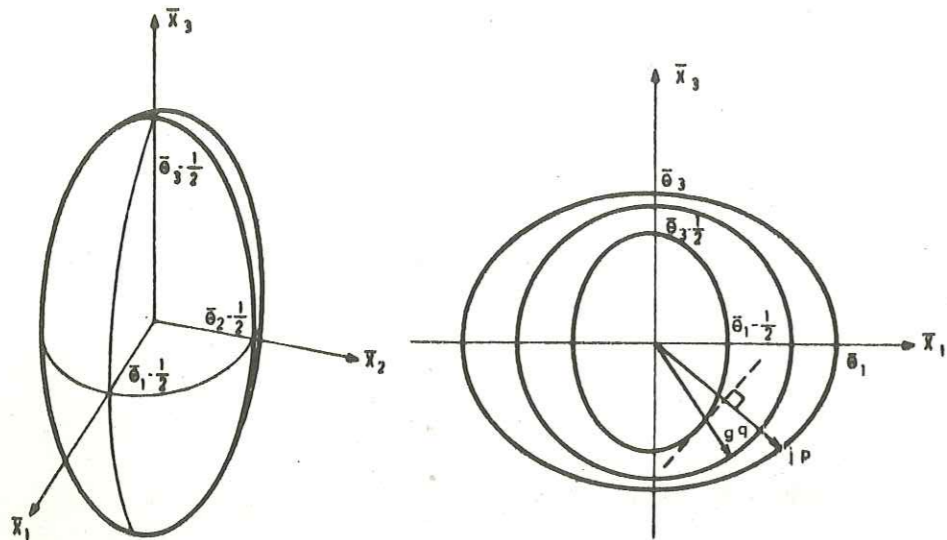


Fig. 2.3:2

Quand un vecteur g^q unitaire tourne autour de l'origine, l'extrémité du vecteur j^p décrit une nouvelle quadrique:

$$\frac{\bar{x}_m^2}{\bar{\theta}_m} = \frac{\bar{x}_1^2}{\bar{\theta}_1} + \frac{\bar{x}_2^2}{\bar{\theta}_2} + \frac{\bar{x}_3^2}{\bar{\theta}_3} = 1$$

liée à la quadrique primitive $\bar{\theta}_m \bar{x}_m^2 = 1$ (Fig. 2.3:2). La direction de j^p est celle de la normale au plan tangent à l'intersection de la quadrique primitive avec g^q .

À 2 dimensions les expressions antérieures prennent les aspects:

$$\theta_{11} x_1^2 + \theta_{22} x_2^2 + 2\theta_{12} x_1 x_2 = 1$$

$$\frac{\bar{x}_1^2}{\bar{\theta}_1} + \frac{\bar{x}_2^2}{\bar{\theta}_2} = 1$$

Les transformations de coordonnées:

$$\bar{x}_m = \bar{x}_m \left(\frac{\bar{\theta}}{\bar{\theta}_m} \right)^{1/2} \quad (m = 1, 2, 3)$$

où

$$\bar{\theta} = (\bar{\theta}_1 \bar{\theta}_2 \bar{\theta}_3)^{1/3} \quad (\text{noter l'exposant } \frac{1}{3})$$

permettent d'opérer avec un nouveau système fictif homogène et isotrope, défini par un tenseur $\bar{\theta}$ assimilable à un scalaire:

$$[\bar{\theta}] = \begin{vmatrix} \bar{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{\theta} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\theta} \end{vmatrix}$$

Pendant cette transformation (déformation homogène) les volumes infinitésimaux restent constants:

$$d\bar{x}_1 d\bar{x}_2 d\bar{x}_3 = d\bar{x}_1 d\bar{x}_2 d\bar{x}_3$$

Par conséquent les débits sont préservés quand les équipotentiels gardent leurs valeurs.

Dans les cas bidimensionnels, les expressions antérieures prennent la forme:

$$\bar{\theta} = (\bar{\theta}_1 \bar{\theta}_2)^{1/2} \quad (\text{noter l'exposant } \frac{1}{2})$$

$$[\bar{\theta}] = \begin{vmatrix} \bar{\theta} & 0 \\ 0 & \bar{\theta} \end{vmatrix}$$

L'application du principe de NEUMANN aux transformations:

$$\bar{\theta}_{mn} = a_{mi} a_{nj} \theta_{ij}$$

équivalents aux opérations de symétrie:

$$\bar{x}_m = a_{mi} x_i$$

rend possible de saisir le caractère de Θ pour les différentes classes de symétrie.

Le dessin 1 et le tableau suivant renferment les principales conclusions se référant aux divers systèmes aussi bien que l'indication de la quantité des composantes Θ_{ij} nulles ou égales entre elles.

Il faut signaler la possibilité d'assimiler le tenseur Θ à une grandeur scalaire pour le système cubique (conclusion valable exclusivement pour les propriétés tensorielles d'ordre égal ou inférieur à 2).

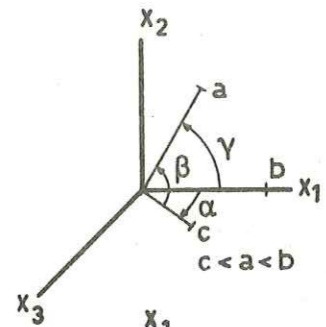
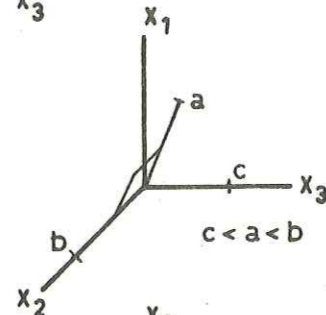
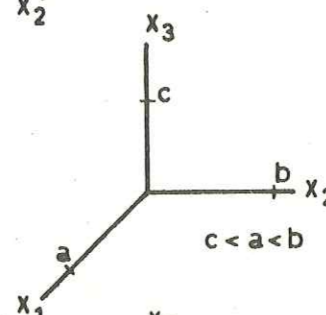
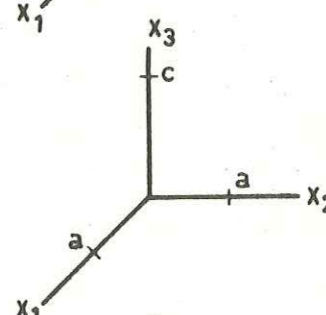
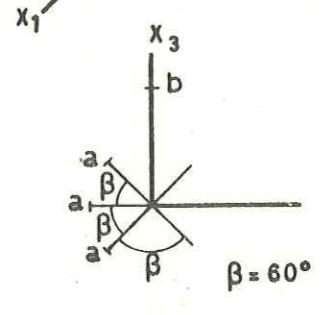
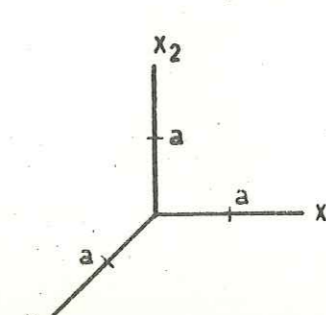
Système	Occurrence de plans avec des propriétés isotropiques	Rapport des directions principales du tenseur Θ avec l'orientation des axes cristallographiques
Triclinique	Aucun	Aucun
Monoclinique	Aucun	Une des directions, parallèle à l'axe \underline{c}
Orthorhombique	Aucun	Coïncidentes avec les axes
Tetragonal	Tous les plans normaux à l'axe	Coïncidentes avec les axes
Trigonal-Hexagonal	Tous les plans normaux à l'axe	Une des directions, parallèle à l'axe \underline{b}
Cubique	Tous	N'importe quel référentiel, coïncident ou non avec les axes, définit des directions principales

En considérant des matériaux hétérogènes, définis par Θ fonctionnellement dépendant de x_i :

$$\Theta_{ij} = f(x_i)$$

on peut opérer avec des systèmes fictifs, définis par des valeurs arbitraires $\bar{\Theta}_{mn}$ invariables, en utilisant des transformations du type:

CARACTERES DES TENSEURS Θ

SYSTEME	AXES CRISTALLOGRAPHIQUES	TENSEUR Θ
I TRICLINIQUE		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & \Theta_{12} & \Theta_{13} \\ \Theta_{21} & \Theta_{22} & \Theta_{23} \\ \Theta_{31} & \Theta_{32} & \Theta_{33} \end{vmatrix}$
II MONOCLINIQUE		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & 0 & \Theta_{13} \\ 0 & \Theta_{22} & 0 \\ \Theta_{31} & 0 & \Theta_{33} \end{vmatrix}$
III ORTHORHOMBIQUE		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta_{33} \end{vmatrix}$
IV TETRAGONAL		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta_{33} \end{vmatrix}$
V TRIGONAL-HEXAGONAL		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta_{33} \end{vmatrix}$
VI CUBIQUE		$\begin{vmatrix} \Theta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta_{11} \end{vmatrix}$

$$\bar{x}_m = \alpha_m a_{mi} x_i$$

$$\bar{\theta}_{mn} = \alpha_m a_{mi} \alpha_n a_{nj} \theta_{ij}$$

avec α_m et a_{mi} fonctions de x_i .

Exemple 2.3:4 : En examinant un système hétérogène (rapporté à un référentiel x_1, x_2), défini par un tenseur θ variable:

$$\begin{vmatrix} \theta_{11} x_1^{-1} & 0 \\ 0 & \theta_{22} \end{vmatrix}$$

il est toujours possible d'admettre un système fictif (rapporté à un nouveau référentiel \bar{x}_1, \bar{x}_2), transformé du primitif par les relations:

$$\bar{x}_1 = x_1^{1,5}$$

$$\bar{x}_2 = x_1$$

défini par un tenseur θ invariable:

$$\begin{vmatrix} \bar{\theta}_{11} & 0 \\ 0 & \bar{\theta}_{22} \end{vmatrix}$$

Finalement, pour des matériaux hétérogènes non continus, la valeur moyenne \bar{m}_j de leurs propriétés selon un direction j , résulte de l'expression:

$$(\bar{m}_j)^{n_j} = p_i (m_{ij})^{n_j} \quad -1 \leq n_j \leq 1$$

où:

\bar{m}_j - propriété moyenne selon la direction j

p_i - fraction du volume occupé par le composant d'ordre i
($\sum p_i = 1$, pour le système)

m_{ij} - propriété du composant d'ordre i selon la direction j

n_j - exposant variable de -1 à 1 en fonction du caractère de la propriété et de la direction j .

Exemple 2.3:5 : La détermination des coefficients moyens de perméabilité horizontale \bar{K}_H et verticale \bar{K}_V pour un terrain stratifié, constitué par une série de couches horizontales définies individuellement par des proportions p_i (par rapport à l'épaisseur du terrain) et des coefficients de perméabilité horizontale K_{iH} et verticale K_{iV} , résulte des sommations:

$$\bar{K}_H = p_1 K_{1H} + p_2 K_{2H} + \dots + p_n K_{nH}$$

et:

$$\frac{1}{\bar{K}_V} = \frac{p_1}{K_{1V}} + \frac{p_2}{K_{2V}} + \dots + \frac{p_n}{K_{nV}}$$

définis par des exposants n_j respectivement égaux à +1 et -1.

3 - CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE DES MILIEUX FISSURÉS

3.1 - Observations préliminaires

La valeur des résultats des prévisions concernant le comportement hydraulique des milieux fissurés (en admettant l'utilisation correcte des méthodes d'intégration des expressions phénoménologiques) dépend essentiellement de leurs degrés de similitude avec leurs modèles d'analyse.

L'idéalisation des modèles d'analyse (mathématiques ou analogiques) ressort fondamentalement de la fréquence relative (vis-à-vis des dimensions des espaces considérés) de leurs fissures, facteur conditionnant l'échelle adéquate d'application des relations différentielles du régime de flux (ne pas confondre avec l'échelle du modèle).

En effet, alors que les fréquences réduites exigent la considération des comportements individuels de chaque fissure (sous des influences simultanées provenant de ses intersections avec les autres fissures et avec les limites du système), des fréquences élevées autorisent la considération de la résultante des effets singuliers de l'ensemble des fissures (en observant exclusivement les sujétions provenant de l'extérieur).

Toutefois, les deux situations admettent des comportements régis par des expressions phénoménologiques identiques:

$$[j^p] = [s^{p,q}] [g^q]$$

signalées, néanmoins, pas des conductivités $s^{p,q}$ qui traduisent respectivement l'effet d'une fissure unique ou d'un ensemble de fissures.

Par conséquent, l'identification de l'échelle d'application des relations différentielles (pour chaque fissure ou pour l'ensemble) aussi bien que la détermination convenable de $s^{p,q}$ (compatible avec le caractère de la fissure ou de la fissuration), prennent une importante primor

diale dans l'idéalisation des modèles d'analyse.

Dans le but de favoriser la planification adéquate des simulations, l'auteur réunit dans le présent chapitre un bref aperçu sur le caractère de la conductivité hydraulique $s^{p,q}$ des milieux fissurés (adaptation immédiate des principes et fondements inclus dans le texte précédent) et une étude expérimentale (application de la méthode electroanalogique présentée dans le chapitre 5) dont les résultats fixent des critères relatifs à la sélection de l'échelle convenable des traitements mathématiques ou analogiques.

3.2 - Étude théorique

Les principes résumés dans le chapitre précédent, concernant les systèmes en régime stationnaire, prévalent intégralement pour l'écoulement des fluides incompressibles à travers les milieux fissurés indéformables, facilitant la compréhension immédiate du caractère des tenseurs $s^{p,q}$, dont les aspects fondamentaux sont examinés à la suite.

: Désignation, symbologie et unités

Le tableau suivant établit la comparaison parmi les désignations, symbologie et unités génériques et particulières des différents paramètres qui définissent les régimes stationnaires.

Grandeur et Symbologie		Unités	
Générique	Particulière	Générique	Particulière
Grad. Potent. g^q	Grad. Hydr. J	variab.	-
Dens. Courant j^p	Vit. Écoule. V	variab.	LT^{-1}
Conduct. $s^{p,q}$	Coef. Perméab.	variab.	LT^{-1}

Pour le coefficient de perméabilité, le texte actuel adopte la symbologie suivante:

Système	Régime d'écoulement	
	Laminaire	Turbulent
Fissure Unique	k	t
Ensemble des Fissures	K	T

: Relations parmi V, J, k, t, K, T

Pour les régimes linéaires et turbulents prévalent les relations suivantes:

$$\begin{aligned}
 [V_i] &= [k_{ij}] [J_i] \\
 [V_i] &= [K_{ij}] [J_i] \\
 [V_i] &= [t_{ij}] [(J_j)^{0,5}] \\
 [V_i] &= [T_{ij}] [(J_j)^{0,5}]
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{(comportement non linéaire)}$$

Les coefficients k, K et t, T, aussi bien que les exposants 1 ou 0,5, reflètent respectivement la prédominance des résistances visqueuses ou résistances d'inertie. Des situations intermédiaires exigent des exposants (expérimentaux) compris dans l'intervalle 0,5 à 1 et des coefficients adéquats.

: Caractère des tenseurs k, t, K, T

i) Par rapport à un référentiel arbitraire x_i , le tenseur k (ou bien t), représentatif du coefficient de perméabilité de chaque fissure plane (en la supposant statistiquement homogène), prend le caractère général:

$$[k_{ij}] = \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{vmatrix}$$

Par rapport à un référentiel particulier x_m , dont l'orientation 3 coïncide avec la normale au plan de la fissure, le tenseur k (ou t), selon le principe de NEUMANN pour les cas de symétrie orthorhombique - dipyramidale, prend l'aspect:

$$[\bar{k}_m] = \begin{vmatrix} \bar{k}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{k}_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

ou, pour le cas de symétrie tétragonal - dipyramidale (la situation la plus fréquente):

$$[\bar{k}_m] = \begin{vmatrix} \bar{k}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{k}_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Les résultats des recherches épuisantes conduites par LOUIS (réf. bib. 5) permettent d'établir les expressions suivantes pour les valeurs principales \bar{k}_m et \bar{t}_m :

. Pour des fissures sans remplissage:

$$\begin{aligned} \bar{k}_1 &= \bar{s}_1 \bar{k} \\ \bar{k}_2 &= \bar{s}_2 \bar{k} \\ \bar{t}_1 &= \bar{s}_1 \bar{t} \\ \bar{t}_2 &= \bar{s}_2 \bar{t} \end{aligned}$$

avec:

$$\bar{k} = \frac{g}{12\nu(1+8,8\bar{r}^{1,5})} \bar{o}^2$$

$$\bar{t} = 4 \sqrt{g} \log \frac{1,9}{\bar{r}} \sqrt{\bar{o}}$$

et:

$$\bar{r} = \frac{\bar{R}}{2\bar{o}}$$

où:

\bar{k}_1, \bar{k}_2 et \bar{t}_1, \bar{t}_2 - respectivement, les valeurs principales des tenseurs k et t (en m/s).

\bar{s}_1, \bar{s}_2 - respectivement, les valeurs principales du sectionnement spécifique linéaire \bar{s} (adimensionnel, rapport entre la sommation des segments ouverts des diaclases et la sommation de leurs longueurs totales dans l'affleurement, selon BOGOMOLOV-BEKTCHOURINE, réf bib.6).

\bar{k}, \bar{t} - conductivités hydrauliques pour des fissures ayant $a_1=s_2=1$.

\bar{o} - ouverture moyenne de la fissure (en m).

\bar{r} - rugosité relative (adimensionnelle, rapport entre la rugosité absolue \bar{R} et le rayon hydraulique $2\bar{o}$ de la fissure).

\bar{R} - rugosité absolue (en m, moyenne des dénivellements entre les points maximum et minimum de la paroi rugueuse de la fissure mesurés selon sa normale).

g - accélération de la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$).

ν - viscosité cinématique de l'eau (en m^2/s , égale à $1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à 20°C).

. Pour les fissures avec remplissage (régime laminaire exclusivement):

$$\bar{k}_1 = \bar{s}_1 \bar{k}_r$$

$$\bar{k}_2 = \bar{s}_2 \bar{k}_r$$

où $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{e}_1, \bar{e}_2$ conservent la signification définie, k_r étant le coefficient de perméabilité isotropique du matériel de remplissage.

Pendant la transition du régime linéaire pour le régime turbulent:

$$\bar{k}_{ij} J_j > t_{ij} J_j^{0,5}$$

Donc, la considération de l'égalité:

$$k_{ij} J_j = t_{ij} J_j^{0,5}$$

où

$$\bar{e}^{-1,5} J^{0,5} = \frac{48 \nu}{\sqrt{g}} \log \frac{1,9}{r} (1 + 8,8 r^{1,5})$$

(dont les symboles conservent la signification antérieure) permet d'établir les limites inférieures \bar{e}, J pour la transition laminaire-turbulente (peu influencées par r dans l'intervalle $1/30 < r < 1/3$). Son expression graphique (Fig. 3.2:1) suggère une prédominance accentuée de l'écoulement laminaire pour les milieux fissurés caractérisés par $\bar{e} < 1000 \mu$ et $J < 10$.

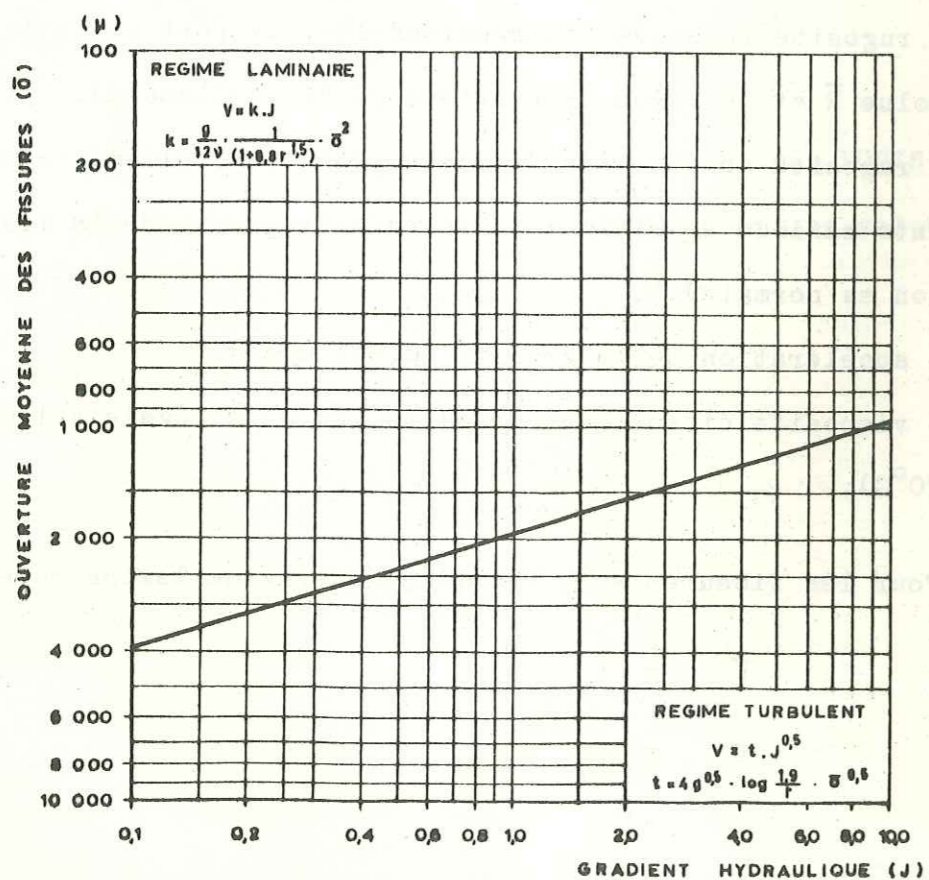


Fig. 3.2:1

ii) En considérant un ensemble de fissures admettant des variations insignifiantes de J dans le domaine d'application des relations différentielles:

$$\begin{aligned} [v_i] &= [k_{ij}] [J_j] \\ [v_i] &= [t_{ij}] [(J_j)^{0,5}] \end{aligned}$$

les tenseurs résultants K (ou T) ressortent des opérations linéaires suivantes (simple superposition des effets en parallèle).

. Pour des fissures parallèles (statistiquement homogènes):

$$[K_{ij}] = \bar{n} \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{vmatrix}$$

où:

$$\bar{n} = \frac{\bar{e}}{e}$$

et:

- K - coefficient de perméabilité de l'ensemble de fissures parallèles (en m/s)
- k - perméabilité de la fissure représentative de l'ensemble (en m/s)
- \bar{n} - porosité transversale moyenne (sans dimension)
- \bar{e}, e - respectivement, ouverture et espacement moyens de l'ensemble (en m), mesurés suivant la normale à son plan moyen

. Pour plusieurs faisceaux quelconques de fissures parallèles $K', K'' \dots$ (ou $T', T'' \dots$) rapportés au même référentiel x_i , la conductivité K (ou T) de l'ensemble résulte des sommations:

$$[K_{ij}] = [K'_{ij}] + [K''_{ij}] + \dots$$

ou:

$$[K_{ij}] = \begin{vmatrix} (\bar{n}' k_{11}' + \bar{n}'' k_{11}'' + \dots) (\bar{n}' k_{12}' + \dots) (\dots) \\ (\bar{n}' k_{21}' + \dots) (\dots) (\dots) \\ (\dots) (\dots) (\dots) \end{vmatrix}$$

Si nécessaire, on peut ajouter le tenseur K^I représentatif de la perméabilité interstielle du milieu.

. Détermination pratique des tenseurs k, t, K, T

Le relevé statistique conventionnel des diaclases permet d'obtenir des informations adéquates à la détermination théorique de la conductivité hydraulique des milieux rocheux (pour chaque faisceau: direction et pendage moyens, \bar{s} , \bar{o} et \bar{e}).

En particulier, une récente technique d'échantillonnage (par forage à rotation), idéalisée par ROCHA (réf. bib. 7), susceptible de préserver l'intégrité et l'orientation des traits lithostructuraux des milieux rocheux, convient à la détermination des tenseurs effectivement représentatifs des conditions naturelles. En effet, en admettant des fissures à symétrie tétragonale (le cas le plus fréquent, avec $\bar{s}_1 = \bar{s}_2 = \bar{s}$), la considération des relations (valables en termes probabilistitques):

$$\bar{k}_1 = \bar{k}_2 = \bar{s} \bar{k}$$

et:

$$\bar{n}'_a \approx \bar{n}' \bar{s}'$$

$$\bar{n}''_a \approx \bar{n}'' \bar{s}''$$

.....

et:

$$\bar{n}^n_a \approx \frac{\bar{o}^n}{\bar{e}^n_a}$$

où:

\bar{n}^n_a - porosité apparente du faisceau n (adimensionnelle)

\bar{o}^n_a, \bar{e}^n_a - respectivement, ouverture et espacement apparents du groupe

n, mesurés suivant l'axe du forage (en m)

autorise l'expression:

$$\bar{K}_1^n = \bar{K}_2^n = \bar{K}^n = \bar{n}^n_a \bar{k}$$

donc permettant la détermination de K (ou T) sans connaître la valeur de \bar{s} .

Les résultats des essais Lugeon rend possible éventuellement de préciser l'ordre de grandeur des composantes théoriques du tenseur K (ou T), si l'on respecte le rapport (d'après l'étude expérimentale incluse dans la section suivante):

$$\frac{\bar{e}_a}{L} < 0,1$$

où:

\bar{e}_a - moyenne des espacements apparents (en m)

L - longueur du tronçon du forage essayé (en m)

En effet, en considérant les transformations (mentionnées dans la section 2.3):

$$\theta_{ij} \rightarrow \bar{\theta}_m \rightarrow \bar{\theta}$$

on peut estimer la valeur moyenne du tenseur K (ou T) avec l'aide de l'expression (voir plus en détail au chapitre 4):

$$\bar{K} = \frac{Q}{2\pi H \bar{L}} \ln \frac{0,66 \bar{L}}{r}$$

dans laquelle:

$$\bar{K} = (\bar{K}_1 \bar{K}_2 \bar{K}_3)^{\frac{1}{3}}$$

$$\bar{L} = \alpha L$$

$$\alpha = \left[\bar{K} \left(\frac{a_{1L}^2}{\bar{K}_1} + \frac{a_{2L}^2}{\bar{K}_2} + \frac{a_{3L}^2}{\bar{K}_3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

où:

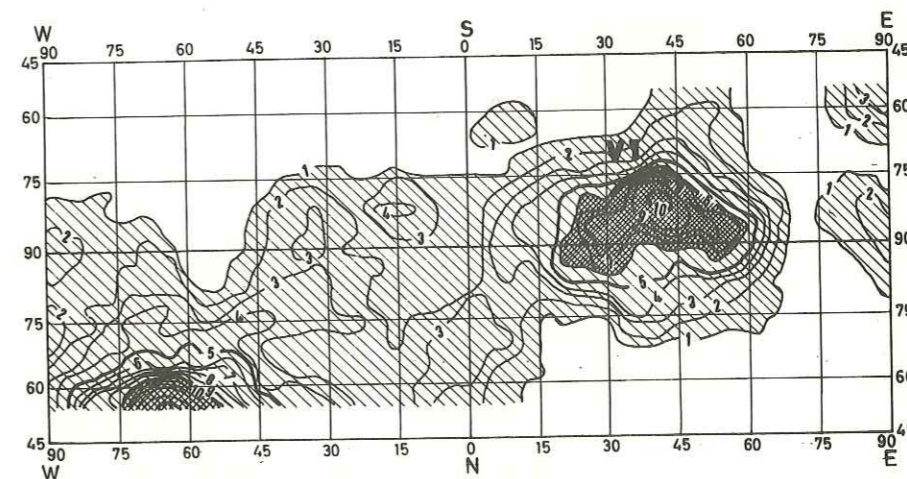
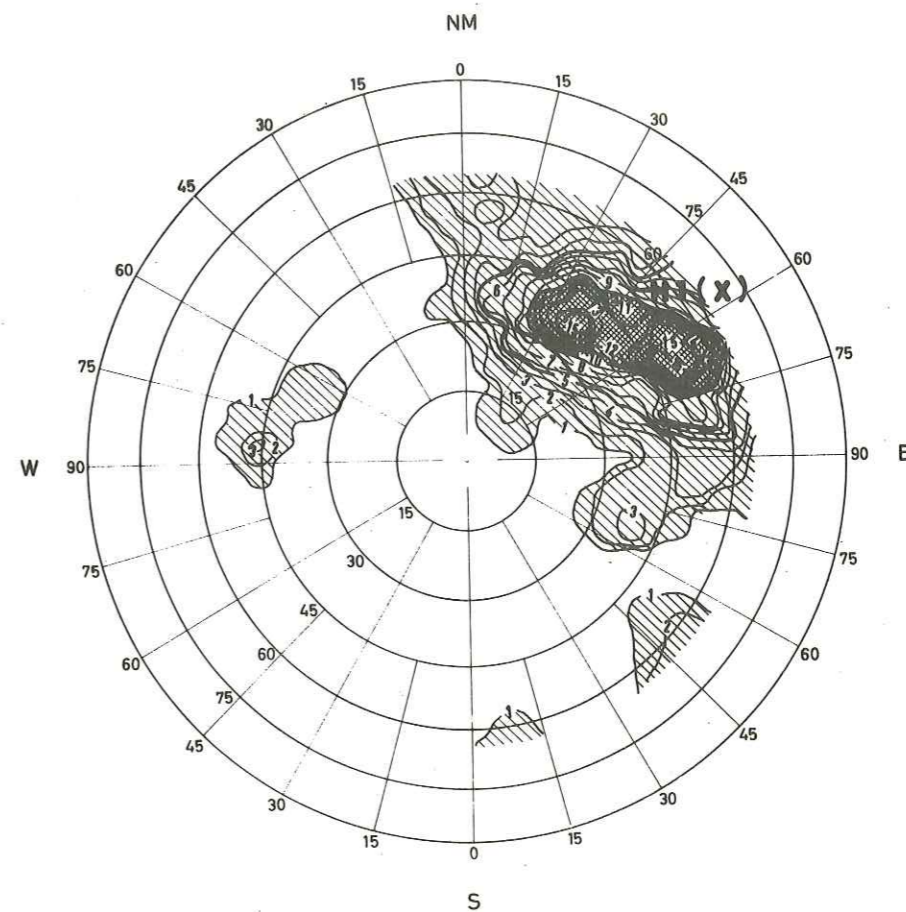
- \bar{K} - coefficient de perméabilité moyen (en m/s)
- \bar{K}_m - valeurs principales de K (en m/s)
- Q - débit de l'essai (en m³/s)
- H - charge hydraulique totale de l'essai (manométrique+gravimétrique, en m)
- L - longueur du tronçon du forage essayé (en m)
- r - rayon du forage (en m), égal à la moyenne géométrique des semi-axes de l'ellipsoïde transformé par les relations
- $\bar{x}_m = \bar{x}_m (\bar{K}/\bar{K}_m)^{\frac{1}{2}}$ (m = 1,2,3)
- a_{mL} - cosinus directeurs des orientations principales m par rapport à l'axe du forage.

La valeur de la transformation proposée (bien que sous un autre aspect) fut dûment appréciée par SNOW (réf. bib. 8).

Exemple 3.2.1 : Le tableau suivant réunit des paires de paramètres \bar{e} , $\bar{\sigma}$, $\bar{\pi}$, \bar{s} (en supposant $s_1 = s_2$) pour les deux groupes principaux de diaclases (dessin 2) signalées dans la rive gauche de l'endroit prévu pour l'implantation du barrage d'Alqueva, sur le fleuve Guadiana, Vila de Moura, Portugal. Les investigations (3 galeries avec un total de 465 mesures) ont été conduites en 1969 par le Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de Lisbonne

Grandeur	Groupes de Diaclases	
	H1 (x)	V1
Direction moyenne	N 40° W	N 52° E
Pendage moyen	41° NE	86° SE
\bar{e}	0,23 m	0,47 m
$\bar{\sigma}$	120 μ	180 μ
$\bar{\pi}$	5,2 . 10 ⁻³	3,8 . 10 ⁻³
\bar{s}	0,61	0,45

BARRAGE D'ALQUEVA RELEVÉ DES DIACLASES (RIVE GAUCHE)



SYSTEME DE DIACLASES	VALEURS MOYENNES			
	DIRECTION	PENDAGE	OUVERTURE (mm)	ESPACEMENT (cm)
H1 (x)	N40°W	41°NE	0,12	23
V1	N52°E	86°SE	0,18	47

APUD. REL. ESTUDO DAS FUNDAÇÕES DA BARRAGEM DE ALQUEVA - LNEC - LISBOA - 1970

Cliche' 31179

En admettant arbitrairement une rugosité relative r élevée ($r = 1/3$), chaque groupe de fissures admet des valeurs principales \bar{k}_m (chaque groupe ayant son référentiel \bar{x}_m particulier, dont l'orientation β coïncide avec la normale zénithale au plan de la fissure), données par les formules:

$$\bar{k}_1 = \bar{k}_2 = \bar{s}k = s \frac{g}{12 \nu} \frac{1}{(1+8,8r^{1,5})} \sigma^2$$

d'où:

$$\bar{k}_1 (H1) = 0,47 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\bar{k}_2 (V1) = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Par rapport à un référentiel commun NWZ, les composantes k_{ij} pour chaque groupe proviennent de l'application des transformations:

$$k_{NN} = \bar{k}_1 (\sin^2 A + \cos^2 A \cos M)$$

$$k_{WW} = \bar{k}_1 (\cos^2 A + \sin^2 A \cos M)$$

$$k_{ZZ} = \bar{k}_1 \sin^2 M$$

$$k_{NW} = -\bar{k}_1 \sin A \cos A \sin^2 M$$

$$k_{WZ} = -\bar{k}_1 \sin A \sin M \cos M$$

$$k_{ZN} = -\bar{k}_1 \cos A \sin M \cos M$$

où:

M - pendage de la fissure par rapport au plan horizontal (en degrés)

a - azimuth de la projection horizontale du pendage (ne pas confondre avec la direction), compté positivement dans le sens contraire au mouvement des aiguilles d'une montre, selon ce qu'indique la figure 3.2 :1.

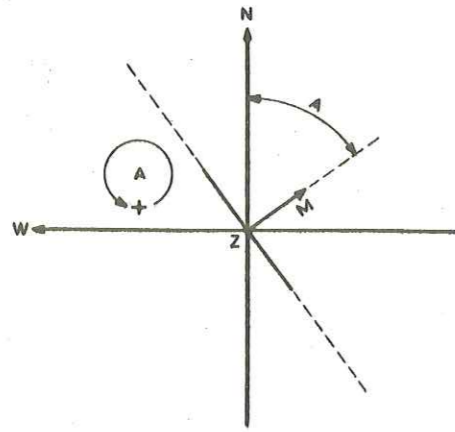


Fig. 3.2:1

En appliquant les transformations, on a pour chaque groupe:

$$\left[k_{ij}^{(H1)} \right] = 0,47 \cdot 10^{-3} \begin{bmatrix} 0,821 & 0,136 & -0,319 \\ 0,136 & 0,748 & 0,379 \\ -0,319 & 0,379 & 0,431 \end{bmatrix} \text{ m/s}$$

$$\left[k_{ij}^{(V1)} \right] = 1,07 \cdot 10^{-3} \begin{bmatrix} 0,379 & 0,485 & \sim 0 \\ 0,485 & 0,611 & \sim 0 \\ \sim 0 & \sim 0 & \sim 1,000 \end{bmatrix} \text{ m/s}$$

Les tenseurs résultants K_{ij} par rapport au référentiel NWZ, ressortent de la sommation:

$$\left[K_{ij} \right] = \left[k_{ij}^{(H1)} \right] + \left[k_{ij}^{(V1)} \right]$$

où:

$$\left[K_{ij} \right] = \bar{n}(H1) \left[k_{ij}^{(H1)} \right] + \bar{n}(V1) \left[k_{ij}^{(V1)} \right]$$

d'où:

$$\left[K_{ij} \right] = \begin{bmatrix} 1,932 & 1,089 & -0,476 \\ 1,089 & 2,233 & 0,566 \\ -0,476 & 0,566 & 2,466 \end{bmatrix} 10^{-6} \text{ m/s}$$

Les valeurs principales \bar{K}_m et les cosinus directeurs respectifs a_{mi} (obtenus conformément aux systèmes d'équations présentés dans le paragraphe 2.3) par rapport au référentiel NWZ sont les suivants:

$$\left[\bar{K}_m \right] = \begin{vmatrix} 3,207 & 0 & 0 \\ 0 & 2,740 & 0 \\ 0 & 0 & 0,682 \end{vmatrix} 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$\left[a_{mi} \right] = \begin{vmatrix} 0,584 & 0,781 & 0,221 \\ -0,434 & 0,070 & 0,898 \\ 0,685 & -0,620 & 0,380 \end{vmatrix}$$

Les calculs exténuants pour la détermination des \bar{K}_m et a_{mi} recommandent l'usage d'ordinateurs.

3.3 - Étude expérimentale

L'étude expérimentale a eu pour objet:

. Vérifier quantitativement la précision de la méthode analogique proposée dans le chapitre suivant.

. Essayer d'établir quel rapport:

$$\left(\frac{\bar{e}}{\bar{L}} \right)_{\max}$$

où:

\bar{e} - espacement moyen entre fissures (en m)

\bar{L} - dimension moyenne de l'espace en cause (en m)

exige la considération des comportements individuels de chaque fissure.

Seize modèles bidimensionnels ont été essayés (en rapportant les diaclases, normales au plan de l'analyse), constitués par deux groupes de fissures symétriques par rapport à l'horizontale, résultant de la combinaison de quatre rapports \bar{e}/\bar{L} (respectivement 0,1; 0,2; 0,3; 0,4) et cinq angles dièdres α (respectivement 30° ; 60° ; 90° ; 120° ; 150°) (Fig. 3.3:1).

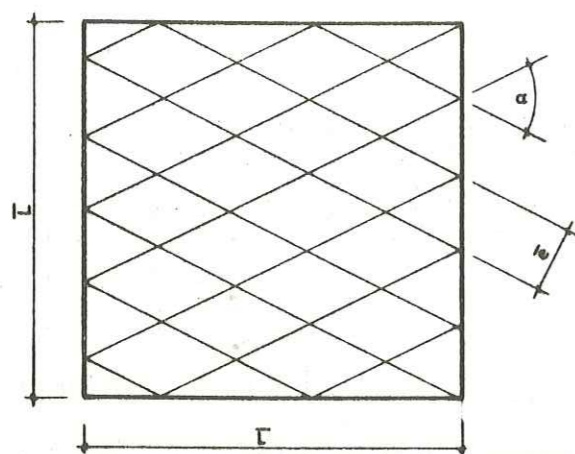


Fig. 3.3:1

Chaque modèle fût essayé selon ses directions principales théoriques. La comparaison entre les valeurs théoriques et expérimentales des invariants des tenseurs K de chaque système a permis d'analyser l'influence du rapport \bar{e}/\bar{L} . Les coefficients de corrélation linéaire parmi les points qui définissent la surface piézométrique expérimentale (théoriquement plane) ont permis de quantifier la précision du modèle en ce qui concerne l'évaluation de potentiels.

Les valeurs principales \bar{K}_1 et \bar{K}_2 expérimentales, aussi bien que l'angle de la direction principale par rapport aux axes de coordonnées, furent déterminées en fonction des mesures ponctuelles du potentiel et des densités de courants, à l'aide du programme élaboré par l'auteur et rédigé en langage FORTRAN IV, contenu dans l'annexe A avec les résultats des essais.

La photographie 3.3:1 illustre une phase des essais.

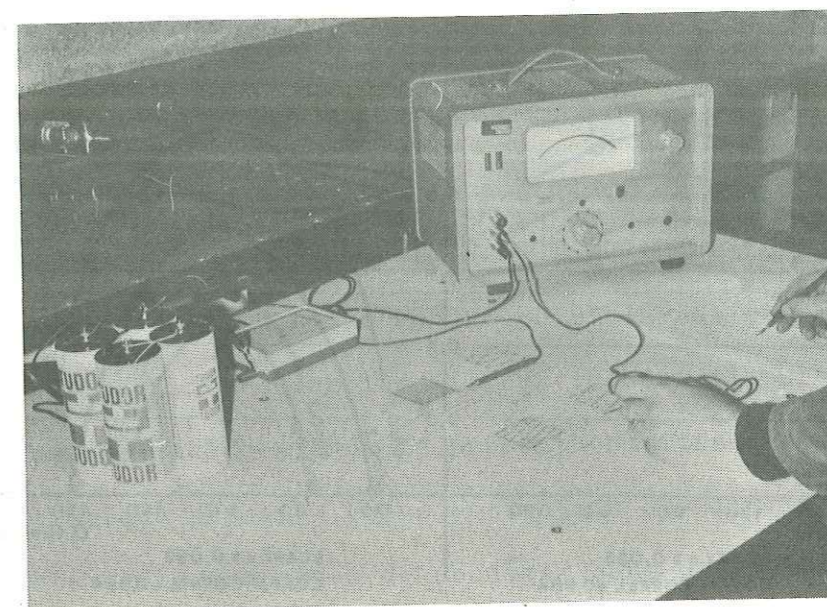


Photo 3.3:1

Les estimations des régressions (Fig. 3.3:1):

$$D_1 = \frac{I_1)_{\text{exp.}}}{I_1)_{\text{théo.}}} = f(\alpha, \bar{e}/\bar{L})$$

$$D_2 = \frac{I_2)_{\text{exp.}}}{I_2)_{\text{théo.}}} = f(\alpha, \bar{e}/\bar{L})$$

où:

D_1, D_2 - rapports entre les invariants I_1, I_2 (paragraphe 2.3) expérimentaux et théoriques (adimensionnels)

α - angle dièdre (en degrés)

\bar{e}/\bar{L} - fréquence relative du modèle (adimensionnel)

accusent des divergences tolérables parmi les valeurs expérimentales et théoriques pour des fréquences relatives \bar{e}/\bar{L} inférieures à 0,1, contenues dans l'intervalle $30^\circ < \alpha < 150^\circ$.

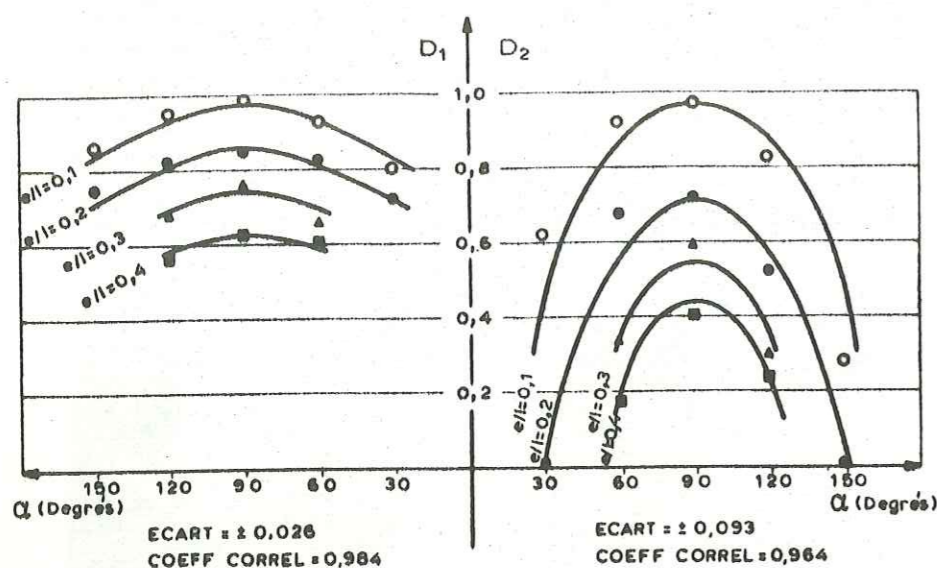


Fig. 3.3:1

Comme les angles dièdres α des groupes principaux des diaclases rarement prennent des valeurs hors de l'intervalle des essais, on peut admettre la valeur 0,1 comme première approximation pour la limite $(\bar{\alpha}/\bar{L})_{\max}$.

Les coefficients de corrélation linéaire relativement élevés (en moyenne $0,9971 \pm 0,0030$), témoignent de la linéarité satisfaisante de la méthode proposée.

4 - ÉTUDE STATISTIQUE DE LA PERMÉABILITÉ DES MILIEUX ROCHEUX FISSURÉS

4.1 - Observations préliminaires

Au cours des dernières années, les investigations géologiques et géotechniques pour des aménagements hydrauliques, exécutés par SONDOTEC NICA ENGENHARIA DE SOLOS S.A. (voir INTRODUCTION), ont fourni un ensemble d'informations susceptibles de rendre possible une étude provisoire du phénomène "perméabilité" dans les milieux rocheux fissurés.

Les conclusions incluses dans le présent chapitre ressortent du traitement statistique primaire (sans estimation des limites de fiabilité) des résultats de 19 campagnes de sondages dans différents endroits au Brésil. Toutefois, avant les présenter, il faut relever, préliminairement, quels sont les défauts qui réduisent la valeur de l'étude.

La limitation la plus sévère constitue l'ignorance partielle du caractère effectif des tenseurs représentatifs de la conductivité hydraulique, comme conséquence de la méconnaissance du comportement exact des systèmes eau-roche pendant la réalisation des essais Lugeon. En effet, sa détermination adéquate exigerait non seulement la connaissance des détails lithostructuraux des espaces essayés, mais aussi la solution des équations différentielles particulières (éventuellement assujetties à des conditions limites transitoires), qui traduisent le comportement des systèmes à l'occasion des modifications de leurs ambiances physiques lors des essais. Afin d'obvier à ces difficultés (pratiquement insurmontables avec les méthodes conventionnelles d'échantillonnage et d'essai) pendant l'interprétation des résultats, les milieux rocheux fissurés furent assimilés à des milieux homogènes et isotropes, néanmoins régis par des comportements hydrauliques apparents identiques. Plus élevée est la fréquence et la triorthogonalité des diaclases, d'autant plus élevée est l'approxima-

proximation de l'estimation.

Le second facteur qui compromet l'analyse effectuée (malgré l'aspect apparemment uniforme de la présentation des données expérimentales), provient des inégalités des détails des informations rassemblées (fonction de la rigueur des spécifications des sondages et essais préfixées par les organismes qui ont commandé les études). En conséquence, des erreurs occasionnelles et inaperçues peuvent éventuellement fausser certaines conclusions.

Enfin, un discrédit mineur provient du caractère général de l'analyse, permettant seulement de fixer des tendances et de présenter des caractéristiques génériques sous d'amples limites de variation. Certes, des interprétations particulières, parfois en rapport avec des conditions géologiques singulières, auraient favorisé la compréhension des constatations étranges. Ces observations furent insérées dans le texte quand elles étaient connues et jugées nécessaires par l'auteur.

4.2 - Genres d'informations recueillies, paramètres et recherches effectuées

Le texte suivant ordonne les genres d'informations (avec l'indication de la symbologie et des unités respectives) réunies pour les différents endroits étudiés. D'éventuelles notes additionnelles complètent l'information.

: Pour chaque aménagement

- i) Nom du barrage (B.)
- ii) État de l'Union (E.)
- iii) Lieu de l'aménagement (L.)
- iv) Nom de la rivière (R.)

- v) Client (C.)
- vi) Entrepreneur des sondages (E.)
- vii) Année de l'étude (A.)

: Pour chaque sondage

- i) Désignation du sondage (F. ...)
- ii) Coordonnées (X,Y,Z; en m)

Coordonnées relatives: cote Z para rapport au forage avec la moindre cote absolue; axe X en accord avec le sens et direction d'écoulement de la rivière; axe Y coïncidant approximativement avec l'axe du barrage.

- iii) Profondeur totale (P.T.; en m)
- iv) Épaisseur de la couverture (E.C.; en m)

Correspondant à la profondeur de l'horizon impénétrable avec les forages à percussion selon les normes S.P.T. ou au niveau défini par des indices de récupération, avec les sondages à rotation, supérieurs à 10% pour une manoeuvre de 3 m.

- v) Profondeur du niveau phréatique (N.A.; en m)

Valeurs mesurées pendant l'exécution des forages.

: Pour chaque essai Lugeon

A chaque endroit, les sondages à rotation furent accompagnés de l'exécution des essais type Lugeon, ayant comme objet la reconnaissance des caractéristiques hydrauliques des substratums prévue pour l'implantation des barrages. Les étapes de perforation ont été essayées (généralement avec une longueur de 3 m, avec l'aide des dispositifs capables d'isoler complètement cette longueur) pour 1 ou 3 paliers de pression manométrique ascendente (généralement 1, 3 et 5 atm). A partir des débits obtenus (généralement mesurés en l/min), les coefficients de perméabili-

té (exprimés en m/s) furent déterminés en considérant la charge hydraulique totale (manométrique + gravimétrique) mesurée au milieu du tronçon.

Les informations recueillies furent les suivantes:

i) Profondeur moyenne du segment (P; en m)

Mesurée à partir de la cote inférieure de la couverture incohérente E.C.

ii) Espèce rocheuse (E.R.)

iii) Indice de récupération (R. ; en %)

Indicatif du rapport en pourcentage entre la sommation des longueurs des échantillons rocheux prélevés à chaque manoeuvre et sa longueur totale.

iv) Pression hydraulique de l'essai (H. ; en unités pratiques, m)

v) Coefficient de perméabilité (K.; en m/s)

Calculés à l'aide du monogramme élaboré par l'auteur (dessin 3), selon l'expression déduite par BABOUCHKINE (réf. bib. 9):

$$K = \frac{Q}{2\pi HL} C_f$$

où:

$$C_f = \ln \frac{0,66 L}{r}$$

et:

K - coefficient de perméabilité (en m/s)

Q - débit (en m³/s)

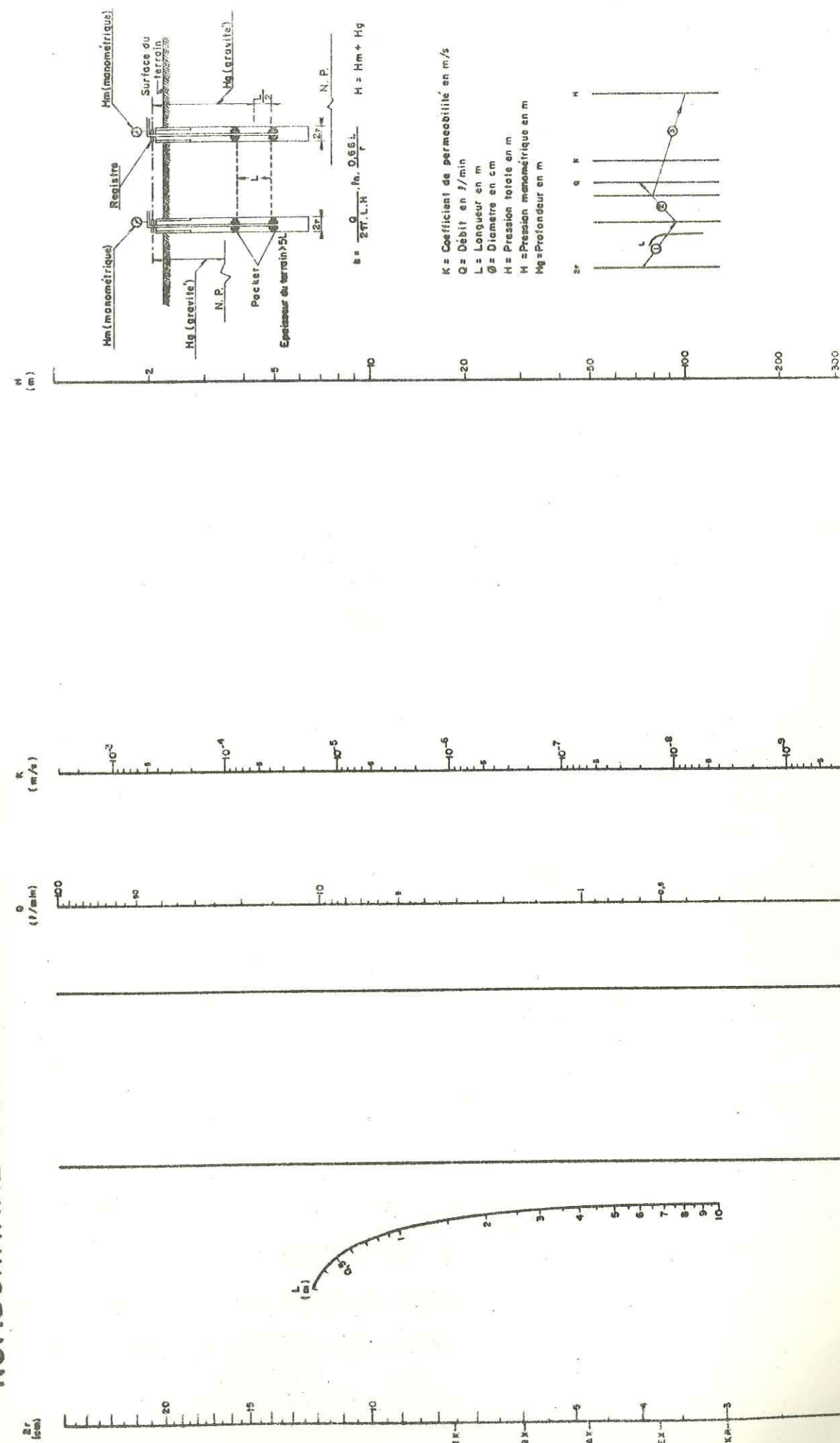
L - longueur du tronçon

r - rayon du forage (en m)

C_f - coefficient de forme (adimensionnelle)

Le fait que le coefficient de forme C_f accuse une valeur légèrement inférieure à celles habituellement recommandée découle des conditions particulières de sa déduction analytique, admettant un milieu perméable

NOMOGRAMME POUR LE CALCUL DU COEFFICIENT DE PERMEABILITE



illimité en présence des dimensions de l'espace essayé.

: Compléments

Outre les informations mentionnées, en a enregistré 2 séries de 18 lectures d'hydromètre (6 pour chaque palier de pression) espacées de 10 min, se rapportant à 2 essais de longue durée dans des milieux saturés (avec un comportement sensiblement linéaire) effectués sous des conditions différentes (par rapport aux endroits, opérateurs, profondeurs, débits, etc. ...). Ces informations sont aussi réunies dans l'annexe C.

On résume à la suite, les genres de paramètres estimés et les recherches effectuées (avec l'indication des unités respectives et symbologie) à partir des données réunies. Des observations occasionnelles élucident l'information.

: Pour chaque aménagement

- i) Espèce rocheuse dominante (E.R.)
 - ii) Épaisseur moyenne de la couverture incohérente (E.C.; en m)
 - iii) Cote moyenne du niveau phréatique ($\bar{N}.A.$, en m)
- Par rapport au forage avec la moindre cote absolue.
- iv) Indice de récupération moyen (\bar{R} ; en m)
 - v) Déclivité moyenne de la vallée (\bar{D} ; adimensionnelle)

Définie par l'expression:

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum \frac{Z}{Y}$$

où:

\bar{D} - déclivité moyenne (adimensionnelle)

Z, Y - cote et ordonnée des sondages situés dans la section de la vallée (qui définissent approximativement sa forme)

N - nombre de sondages considérés

vi) Régressions du type:

$$K = f(P, R)$$

où:

K - coefficient de perméabilité (en m/s)

P - profondeur (en m)

R - indice de récupération (en %)

La recherche des régressions optima a été poursuivie à l'aide d'un programme rédigé en langage FORTRAN IV (légèrement modifié pour permettre des ajustements non linéaires) élaboré par l'Université de Pensylvanie (réf. bib. 10).

La distribution des valeurs de K a été approchée au type normal, moyennant sa transformation logarithmique et aussi l'attribution de la valeur $5 \cdot 10^{-9}$ m/s (5 à 10 fois plus petite que les valeurs minima mesurables avec l'équipement conventionnel) pour les tronçons caractérisés par des absorptions nulles.

Parmi plusieurs alternatives de correspondance fonctionnelle entre les variables:

$$\log K, \log P, P, P^2, P^3, \log R, R, R^2, R^3$$

ont été seulement admises les régressions considérées significatives d'accord avec des critères d'acceptation ou de rejet basés sur la comparaison entre niveaux F de signification (pour des probabilités d'erreur type I inférieures à 5%) et les rapports des carrés des écarts en relation à la moyenne et à l'estimation. En plus, les coefficients de corrélation multiples R.M. ont été comparés avec les coefficients critiques R.C., fixés par SNEDECOR (réf. bib. 11), en considérant le nombre d'essais, le nombre de variables et la fiabilité type I supérieure à 95%.

vii) Coefficient de perméabilité horizontale moyen, pour l'intervalle $P_1 = 0, P_2 = 50$ m, avec l'indication de son écart absolu probable $(\bar{K})_0^{50} \pm s$; en m/s).

Calculés à partir des régressions obtenues d'après l'intégration:

$$(\bar{K})_{P_1}^{P_2} = \frac{1}{P_2 - P_1} \int_{P_1}^{P_2} KdP$$

où:

$$K = f(P, R)_{Rvar}$$

et où les symboles conservent la signification déjà définie.

viii) Coefficient moyen de perméabilité des zones fissurées (K_f ; en m/s).

Moyenne des valeurs de K en excluant celles qui correspondent aux absorptions nulles.

ix) Ordres de grandeur de l'espacement moyen entre fissures (\bar{e} en m), de la porosité moyenne du milieu rocheux (\bar{n} , adimensionnelle) et de l'ouverture moyenne des fissures (\bar{o} en m).

Valeurs estimées en admettant une distribution probabilistique discrète (POISSON) pour la quantité de fissures interceptées par le tronçon du forage et déterminées suivant SNOW (réf. bib. 12), en supposant une certaine triorthogonalité pour le diaclasage, avec l'emploi des expressions

$$\bar{e} = 1,25 \frac{L}{M}$$

$$\bar{n} = 5,45 (\sqrt{K_f} / g \bar{e}^2)^{\frac{1}{3}}$$

$$\bar{o} = \frac{\bar{n} \bar{e}}{3}$$

$$M = \ln \frac{100}{W}$$

où:

et:

- \bar{e} - espacement moyen (en m)
- \bar{n} - porosité moyenne (adimensionnelle)
- \bar{o} - ouverture moyenne (en m)
- L - longueur du tronçon
- \bar{K}_f - coefficient moyen de perméabilité des zones fissurées (en m/s)
- ν - viscosité cinématique de l'eau (en m^2/s ; égale à $1,006 m^2/s$ à $20^\circ C$)
- g - accélération de la gravité ($0,981 m/s^2$)
- W - fréquence relative (en % par rapport au total exécuté des essais signalés par absorption nulle = probabilité d'interception nulle)
- M - quantité moyenne de fissures interceptées dans les essais (nombre adimensionnel).

Le graphique présenté par SNOW (réf. bib. 12), modifié par l'auteur (dessin 28), établit la correspondance M, W.

Observation: Les estimations proposées par SNOW admettent un sectionnement spécifique linéaire s égal à 1. Pour les essais type Lugeon, cette simplification n'introduit pas une grave erreur par suite des dimensions de l'espace essayé vis-à-vis de l'importance usuelle des diaclases.

: Pour les aménagements d'Adustina, Queimado et S. Bernardo

i) Identification des régimes d'écoulements (constatés lors des essais avec 3 paliers de pression) et détermination de leurs pourcentages d'occurrence, respectivement: RL, indicatif d'un comportement linéaire; RA, comportement non linéaire; RP, non linéaire avec les rapports "ac-

croissements de débits/accroissements de pressions" toujours plus élevés; RT, non linéaire avec les rapports "accroissements de débits/accroissements de pressions" toujours moins élevés; RI, non linéaire irrégulier.

Valeurs estimées au moyen de techniques de petits échantillonnages (pour des niveaux d'erreurs type I et II inférieures à 5 et 20%), selon le programme rédigé en langage FORTRAN IV, élaboré par l'auteur, inclus dans l'annexe B. Des limites 0,17 et 0,30 furent fixées (aussi à l'aide des techniques des petits échantillonnages appliquées aux 2 séries de 18 enregistrements citées antérieurement, annexe C) pour l'ampleur de l'écart type relatif des estimations du coefficient de perméabilité d'un même milieu, dû aux fluctuations incontrôlables du pompage pendant les essais et aux imprécisions de lecture d'hydromètres par les opérateurs.

: Pour l'ensemble des paramètres estimés

i) Tentatives d'identification des sous-ensembles définis par des éléments affins, appartenant à l'ensemble majeur.

Effectuées moyennant la confrontation des informations non numériques (les aspects géologiques et géomorphologiques) et/ou des informations numériques (coordonnées géographiques des aménagements; K_H^0 ; degrés de corrélation parmi $\log K$ et les paramètres $\log P, P, P^2, P^3, \log R, R, R^2, R^3$). Les informations numériques furent traitées selon une technique développée en collaboration par l'auteur (réf. bib. 13).

ii) Régression de types:

$K = f(P, R)$: pour l'ensemble des données

$$\bar{K}_H^0 = f(\bar{EC}, \bar{NA}, \bar{R}, \bar{D})$$

$$\bar{K}_f = f(\bar{EC}, \bar{NA}, \bar{R}, \bar{D})$$

$$\bar{e} = f(\bar{D}, \bar{R})$$

$$\bar{n} = f(\bar{D}, \bar{R})$$

$$\bar{o} = f(\bar{D}, \bar{R})$$

où les symboles indiqués conservent la signification déjà définie.

Régressions estimées avec des critères d'acceptation ou de rejet identiques à ceux commentés antérieurement.

4.3 - Résultats et conclusions

Les analyses effectuées permettent seulement des résultats et conclusions en rapport avec le territoire (au sens large du mot) contenant les aménagements examinés, sans autoriser, par conséquent, des adaptations indisciplinées de ses termes quantitatifs pour des situations étrangères au domaine étudié.

En conséquence, leurs implications prévalent uniquement pour les milieux naturels ayant les caractères suivants:

. En ce qui concerne la géologie et géomorphologie:

Terrains primordialement pré-cambriens, déformés par de multiples orogénèses anciennes; postérieurement soulevés par d'amples mouvements épirogéniques (mesocénozoïques), soumis à de longs processus de pediplanations sous climats semiarides (Tertiaire et Quaternaire), dont les effets signalent encore les sédiments paléomesozoïques résiduels (voir dessin 4 et 5).

. En ce qui concerne les vallées:

Définies pour des espèces rocheuses dont la fréquence est de l'ordre suivant: gneiss+granits (53%), metasiltites+ardoises (16%), basaltes (11%), arkoses (10%), conglomérats+siltites (5%), tillites (5%). Caractérisés par les indices moyens et les écarts absolus respectifs (valeurs exclusivement indicatives du caractère des vallées, sans inclure les interfluves): épaisseur de la couche incohérente: $7,08 \pm 3,8$ m, cote du niveau phréatique: $8,36 \pm 8,9$ m, indice de récupération: $71,5 \pm 23,0\%$, déclivité de la vallée: $0,20 \pm 0,14$.

Ci-après on présente sous forme résumée exclusivement des résultats et conclusions d'ordre général. Les informations de détail sont synthétisées dans les tableaux généraux (dessins 6 à 24). Les symboles utilisés maintiennent la signification définie antérieurement.

: Régressions $K = f(P, R)$

i) Les pourcentages probables concernant la possibilité de définir des régressions pour une population théoriquement infinie (évalués moyennant l'extension des 19 résultats en considérant une distribution discrète, avec une erreur type I inférieure à 10%), assument les valeurs:

Aucune régression	: 5,8 à 27,9%
Régression du type $K = f(R)$: 12,1 à 42,1%
Régression du type $K = f(P)$: 12,1 à 42,1%
Régression du type $K = f(P, R)$: 32,7 à 73,5%

Aucune raison apparente ne justifie une telle distribution de fréquences.

ii) Toutes les régressions ont indiqué une réduction de K avec l'accroissement de R (décroissance du stade d'altération) et/ou de P (décroissance simultanée de la fréquence et ouverture des diaclases).

iii) Les écarts absolus de $\log K$ ont accusé des valeurs élevées (en moyenne $0,736 \pm 0,26$), reflétant l'hétérogénéité sensible des milieux prospectés.

iv) Les degrés de corrélation multiple des régressions ont pris des valeurs petites (en moyenne $-0,598 \pm 0,19$), mais toujours avec signification statistique.

v) Les types les plus fréquents de régressions s'adaptent mieux aux termes R^3 , $\log P$ et/ou P , dont les degrés de corrélation individuels avec $\log K$ ont acquis respectivement les valeurs: $-0,377 \pm 0,14$; $-0,375 \pm 0,19$;

-0,374 ± 0,18 (voir dessin 25).

vi) En général la variable R a exercé une plus grande influence sur la détermination de K.

: Paramètres \bar{K}_H^{50} , \bar{K}_f , \bar{e} , \bar{n} , \bar{o}

i) Leurs moyennes et écarts correspondants ont accusé les valeurs:

antilog $[\log \bar{K}_H^{50} \pm s]$: 5,72.10⁻⁸; 1,59.10⁻⁷; 2,24.10⁻⁷ m/s

antilog $[\log \bar{K}_f \pm s]$: 2,28.10⁻⁷; 5,38.10⁻⁷; 1,31.10⁻⁶ m/s

$\bar{e} \pm s$: 3,61 ± 3,1 m

$\bar{n} \pm s$: (2,67 ± 1,3).10⁻⁴

$\bar{o} \pm s$: 228 ± 109 μ

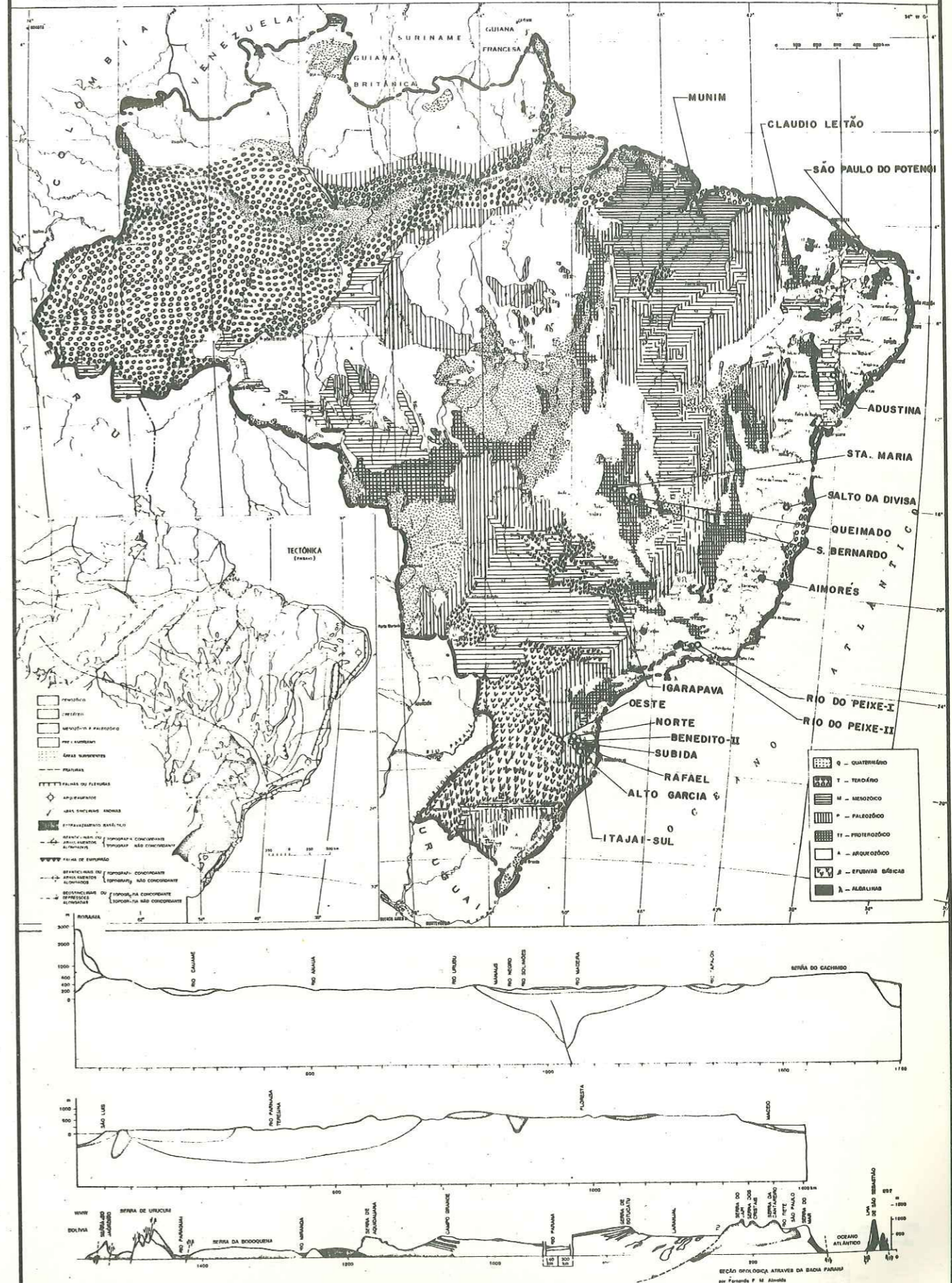
: Régimes d'écoulement pour les aménagements d'Adustina, Queimado et S. Bernardo

i) Les pourcentages concernant les différents types d'écoulement ont assumé les valeurs incluses dans le tableau suivant

BARRAGE	NOMBRE D'OBSERVATIONS	% DE REGIME LAMINAIRE (RL)	% DE REGIME NON LAMINAIRE			
			% TOTALE (RA)	% AVEC ΔQ/ΔH CROISSANTES (RP)	% AVEC ΔQ/ΔH DECROISSANTES (RT)	% AVEC DEBIT IRREGULIER (RI)
ADUSTINA	47	75,86 A 89,66	10,34 A 24,14	3,45	1,72 A 8,62	5,17 A 12,07
QUEIMADO	115	67,07 A 74,15	25,85 A 42,93	5,37 A 10,24	11,71 A 17,07	8,77 A 15,62
S. BERNARDO	215	55,65 A 77,39	22,61 A 44,35	11,30 A 21,74	0,87 A 9,57	10,44 A 13,04
VALEUR MOYENNE		62,86 A 80,40	19,60 A 37,14	6,71 A 11,81	4,77 A 11,75	8,13 A 13,58

ESQUISSE GEOLOGIQUE ET LOCALISATION DES AMENAGEMENTS

IBGE CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA
ATLAS DO BRASIL II-2



ESQUISSE GEOMORFOLOGIQUE ET LOCALISATION DES AMENAGEMENTS

IBGE CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA
ATLAS DO BRASIL - II-3



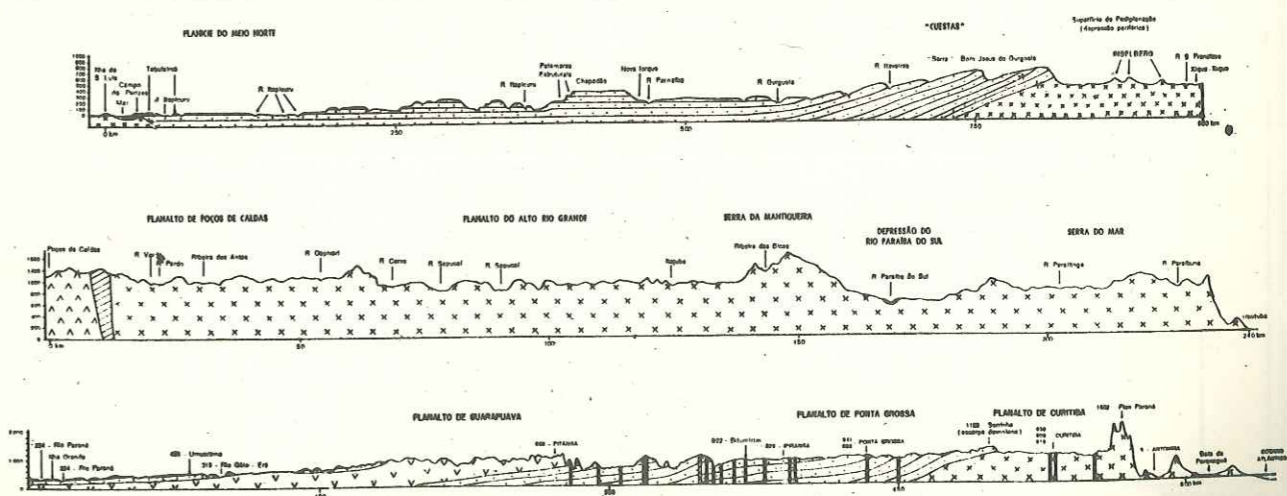
REGIÃO MIOCEÂNICA
 Floresta Equatorial e Tropical Úmida
 Floresta Tropical Semidecidual
 Cerrado
 Campos

REGIÃO SUBTROPICAL
 Floresta com Araucária
 Campos

Área Aprometida da Alta Antiquidade Altiplano

LEGENDA

- BAIXOS PLÁTOS
- PLAUCES (SEDIMENTOS RECENTES)
- TAPALMOS (SEDIMENTOS RECENTES)
- ZONA PLANA (SEDIMENTOS ANTIQOS E BASALTOS)
- ZONA ONDULADA (SEDIMENTOS ANTIQOS E BASALTOS)
- PLACARPA EM SEDIMENTOS ANTIQOS E BASALTOS
- ZONA PLANA (ROCHAS CRISTALINAS PRE-CAMBRIANAS)
- CRISTAS (ROCHAS CRISTALINAS PRE-CAMBRIANAS)
- PLACARPA (ROCHAS CRISTALINAS PRE-CAMBRIANAS)
- ZONA ONDULADA (ROCHAS CRISTALINAS PRE-CAMBRIANAS)
- LINEA POPULADA
- RESERVA
- USINA
- ENCAMPADA DE FALHAS



LEGENDA

- ROCHAS PRE-CAMBRIANAS
- PLAUCES
- SEDIMENTOS E FALHAS
- DEPRESSÃO DE ALTIPLANO ANTIGO
- SEDIMENTOS ANTIQOS
- SEDIMENTOS RECENTES
- FALHAS

SYMBOLES ET CONVENTIONS

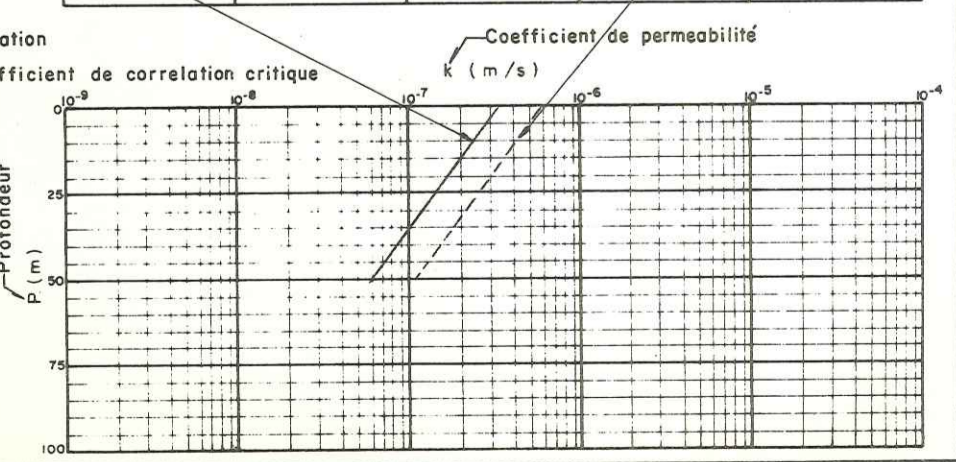
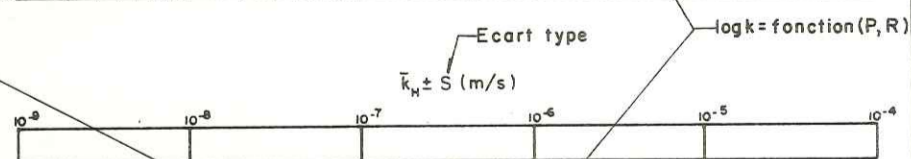
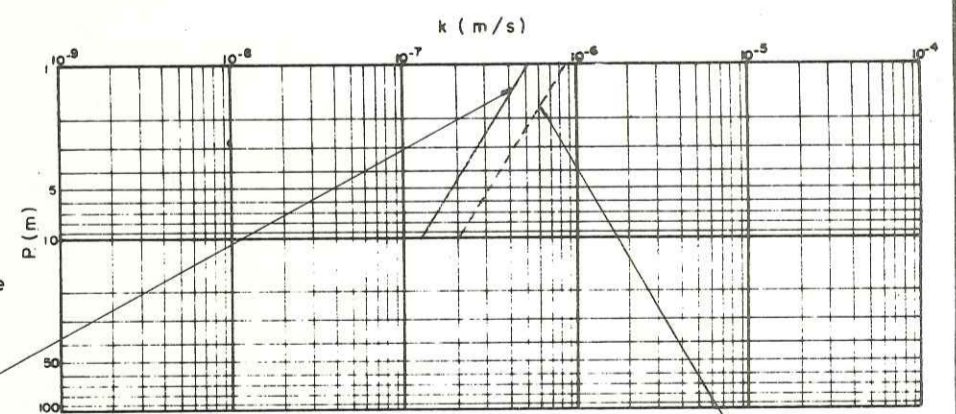
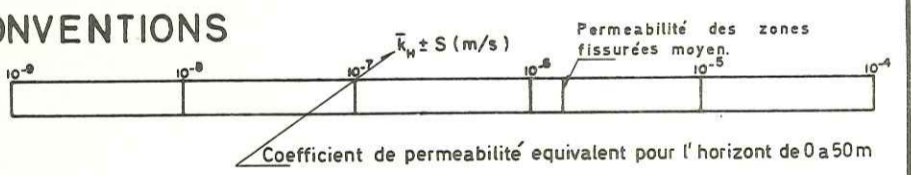
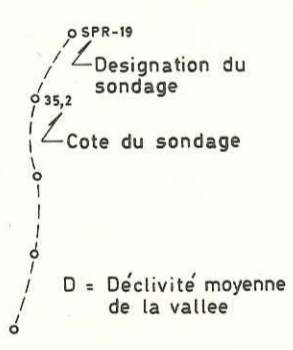
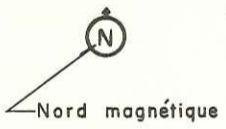
- B — Nom du barrage
- E — Etat de l'Union
- L — Lieu de l'emplacement du barrage
- R — Nom de la rivière
- C — Client
- E — Entrepreneur des sondages
- A — Année

- ER — Espèce rocheuse
- EC — Epaisseur moyenne de la couverture
- NA — Cote moyenne du niveau phreatique
- R — Indice moyen de recuperation

- \bar{a} — Espacement moyen entre fissures
- \bar{n} — Porosité moyenne
- \bar{d} — Ouverture moyenne des fissures

Regressions — Coefficient de correlation multiple — Nombre d'observation — Coefficient de correlation critique

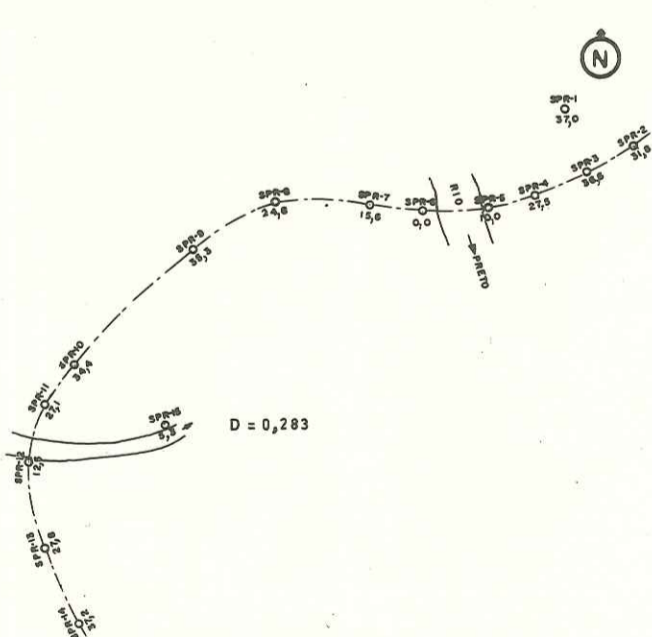
Regressions	R^2	$N =$	R^2	R^2
			M	C



B. Queimado
 E. Brasilia
 L. Queimado
 R. Preto
 C. NOVACAP
 E. Sondotécnica
 A. 1966

E.R. Metasiltite
 E.C. 5,40m
 N.A. 8,00m
 R. 60,0%

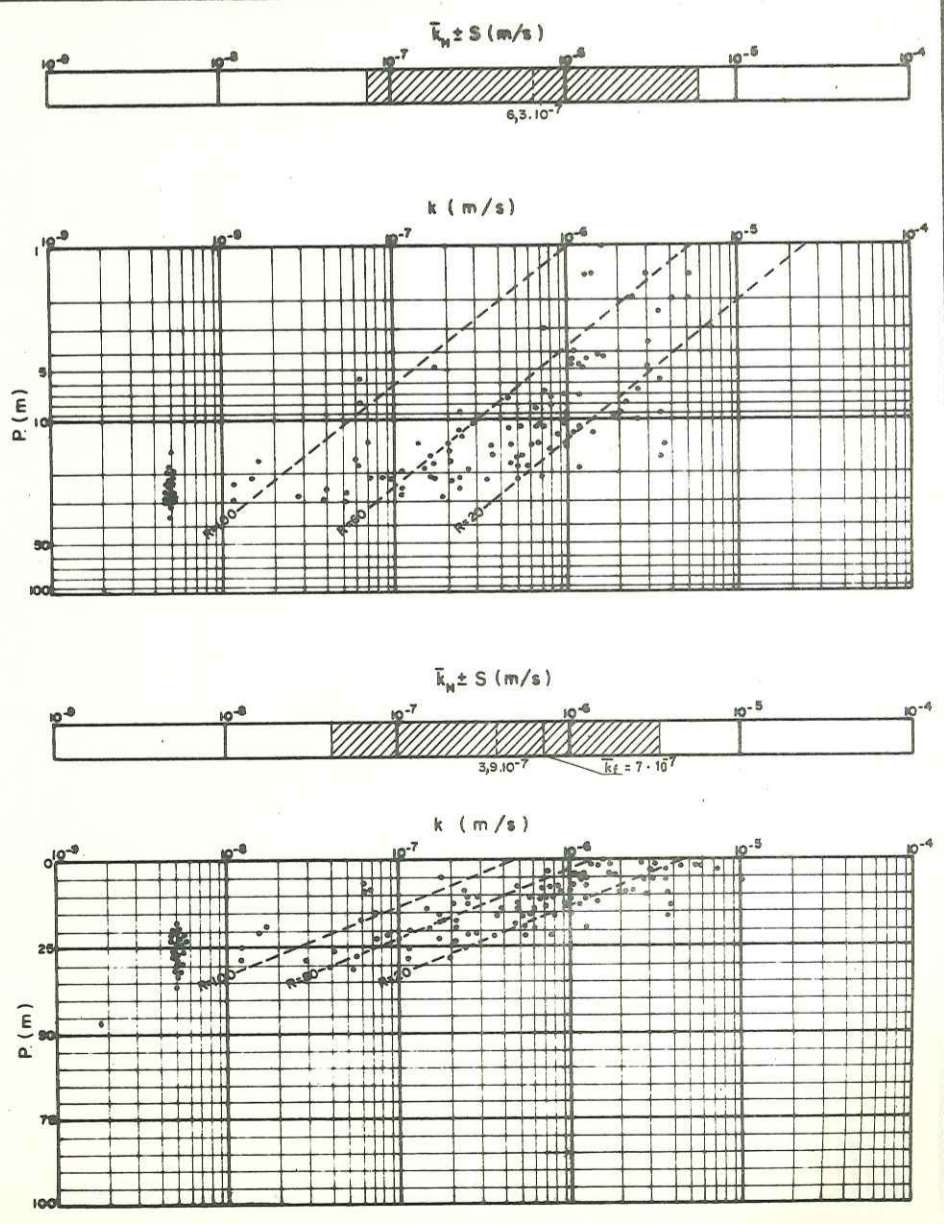
$\bar{e} = 2,3 \text{ m}$
 $\bar{n} = 2,77 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} = 212 \mu$



e - 1:5 000

R. P.	N = 126	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,65 = -5,21 + (-0,0240 \pm 0,0020) R$	0,731	0,174
$\log k \pm 0,52 = -4,23 + (-0,0175 \pm 0,0017) R + (-1,25 \pm 0,14) \log P$	0,840	0,216
$\log k \pm 0,57 = -5,87 - 0,000002 R^2$	0,804	0,174
$\log k \pm 0,43 = -5,34 - 0,000001 R^2 + (-0,0511 \pm 0,0053) P$	0,893	0,216

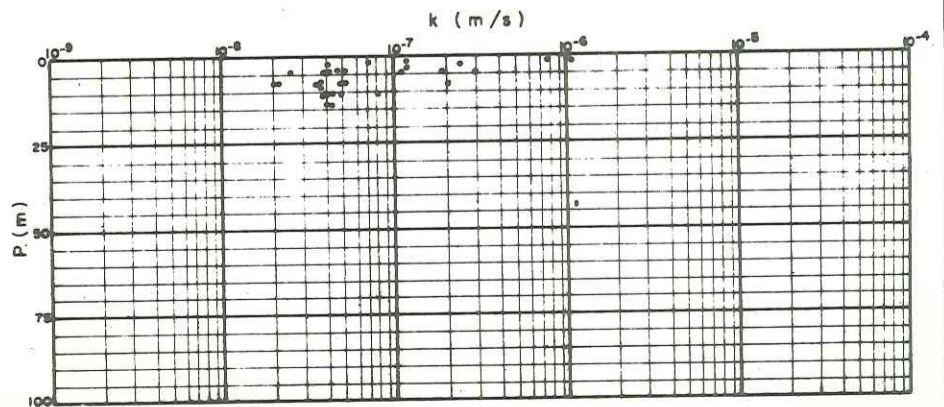
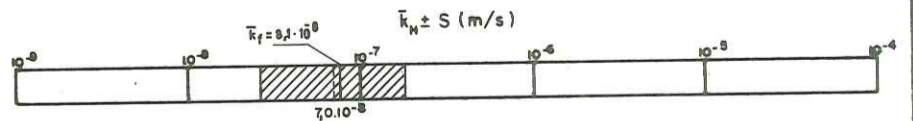
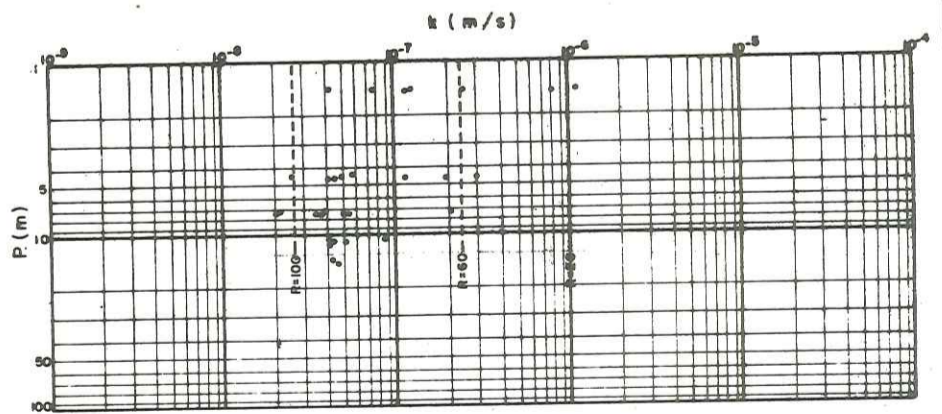
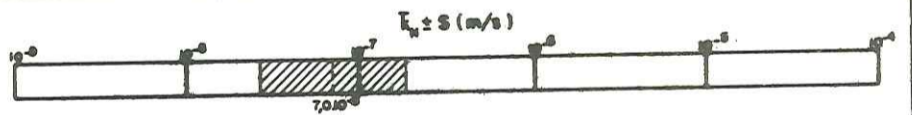
DESSIN 7



B. Aimorés
 E. Minas Gerais
 L. Aimorés
 R.
 C. CEMIG
 E. Sondotécnica
 A. 1965

E.R. Gneiss
 $\bar{E.C.}$ 7,50 m
 $\bar{N.A.}$ 7,40 m
 $\bar{R.}$ 84,7%

$\bar{e} < 10$ m
 $\bar{n} > 2,26 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 75 \mu$



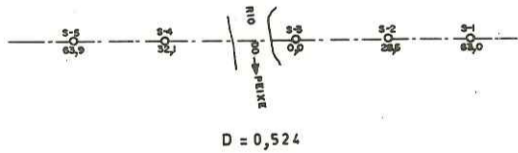
e

R. P.	N = 30	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,25 = -5,64 + (-0,0178 \pm 0,0024)R$	0,814	0,355

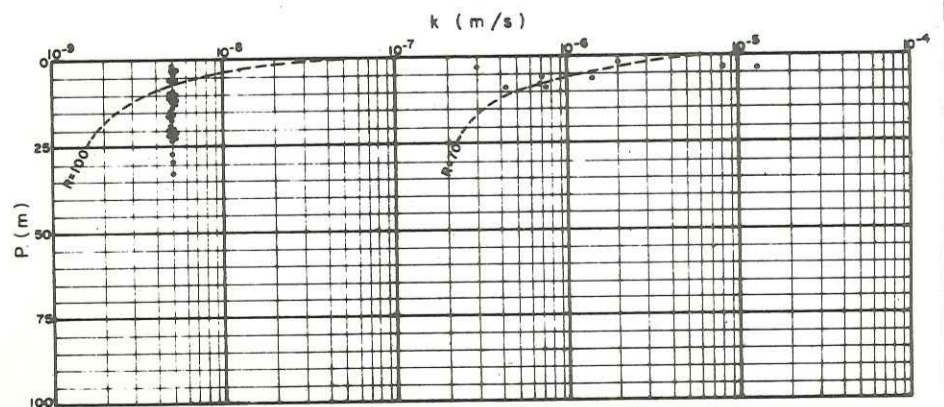
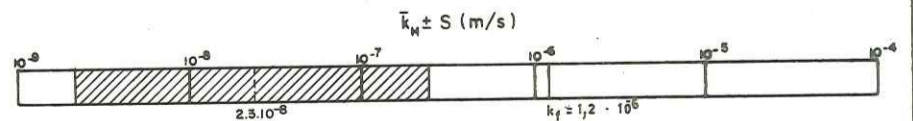
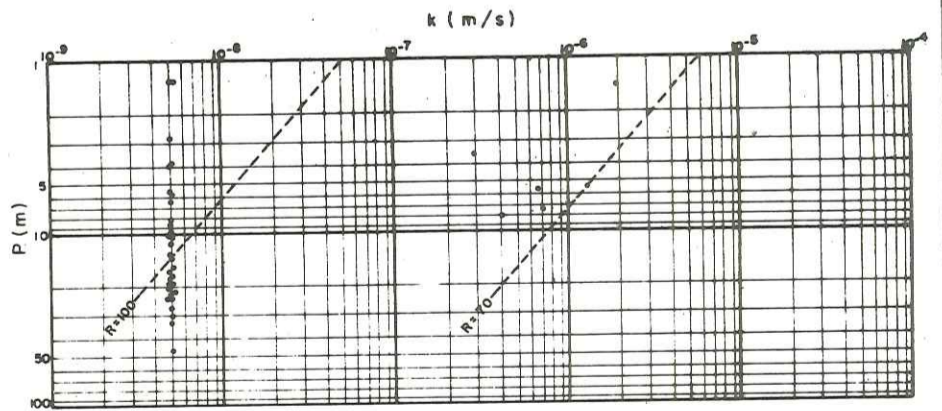
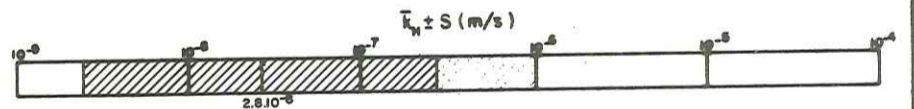
B. Rio do Peixe-1º salto
 E. Minas Gerais
 L. Juiz de Fora
 R. Peixe
 C. Hidronacional
 E. Sondotécnica
 A. 1965

E. R. Biotite gneiss granit.
 E.C. 5,00 m
 N.A. 30,50 m
 R. 92,5%

$\bar{e} < 11,4$ m
 $\bar{n} > 1,16 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 440 \mu$



e - 1:4000



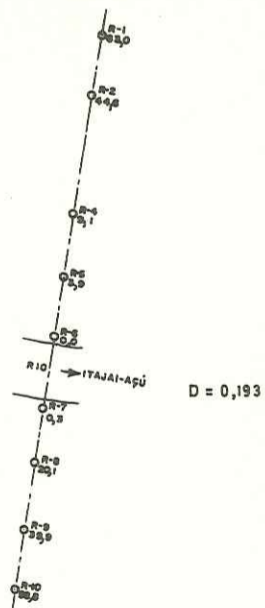
R. P.	N = 39	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,80 = 24,2 + (-16,2 \pm 3,2) \log R$	0,638	0,307
$\log k \pm 0,75 = 20,3 + (-13,8 \pm 3,1) \log R + (-0,874 \pm 0,33) \log P$	0,707	0,378
$\log k \pm 0,81 = -0,411 + (-0,0798 \pm 0,016) R$	0,630	0,307
$\log k \pm 0,73 = -0,163 + (-0,0717 \pm 0,015) R + (-0,151 \pm 0,050) P + (0,00401 \pm 0,0016) P^2$	0,735	0,421

DESSIN 9

B. Subida
 E. Santa Catarina
 L. Vale do rio Itajai
 R. Itajai-Açu
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1961

E.R. Arkose
 E.C. 10,30m
 N.A. 13,60m
 R. 89,0%

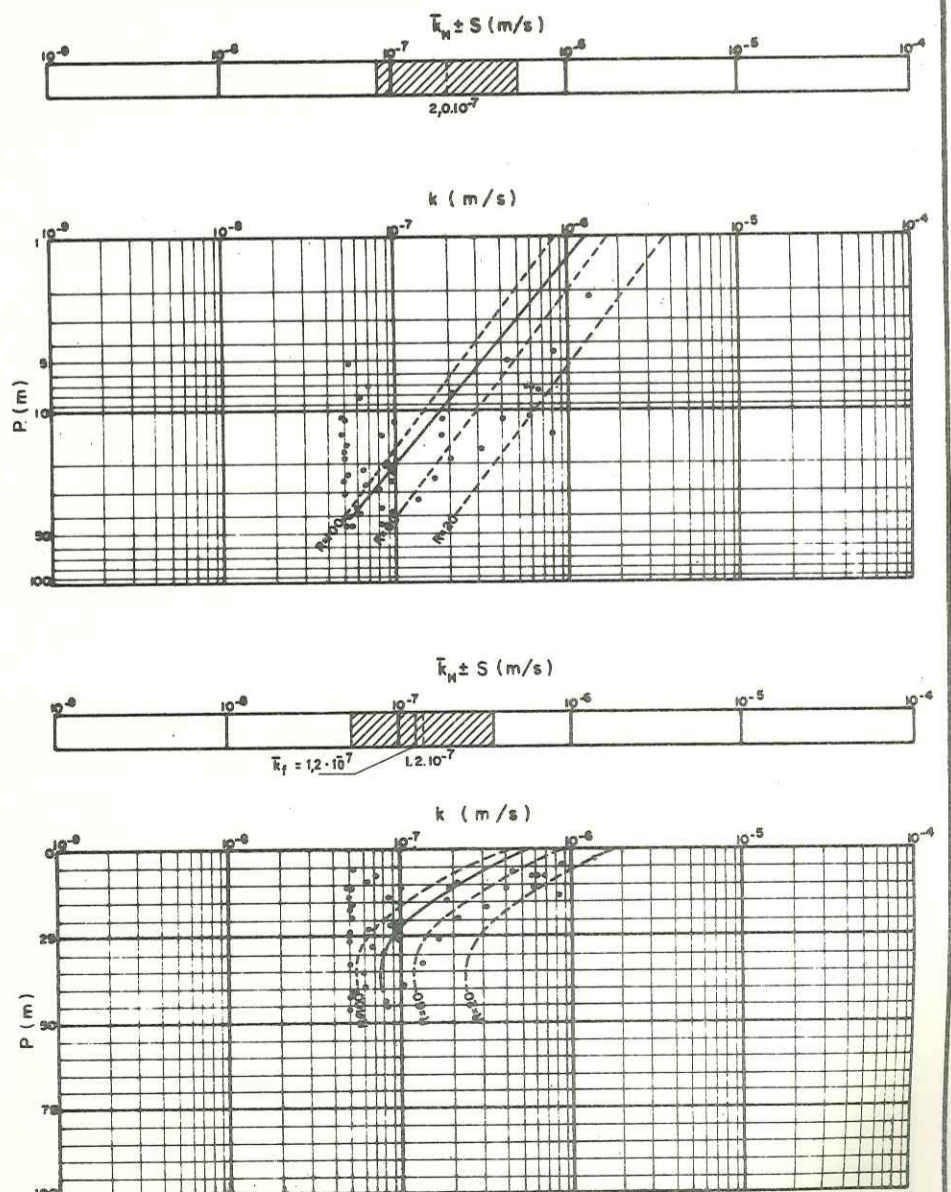
$\bar{e} < 10 \text{ m}$
 $\bar{n} > 2,66 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{o} < 89 \mu$



e - 1:5000

R. P.	N = 47	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,32 = -5,88 + (-0,853 \pm 0,15) \log P$	0,630	0,288
$\log k \pm 0,30 = -5,27 + (-0,00805 \pm 0,0025) R + (-0,764 \pm 0,14) \log P$	0,711	0,353
$\log k \pm 0,31 = -5,58 + (-0,00804 \pm 0,0026) R + (-0,0503 \pm 0,015) P + (0,000711 \pm 0,00031) P^2$	0,694	0,397

DESSIN 10



B. Igarapava
 E. Minas Gerais
 L. Igarapava
 R.
 C. CEMIG
 E. Sondotécnica
 A. 1965

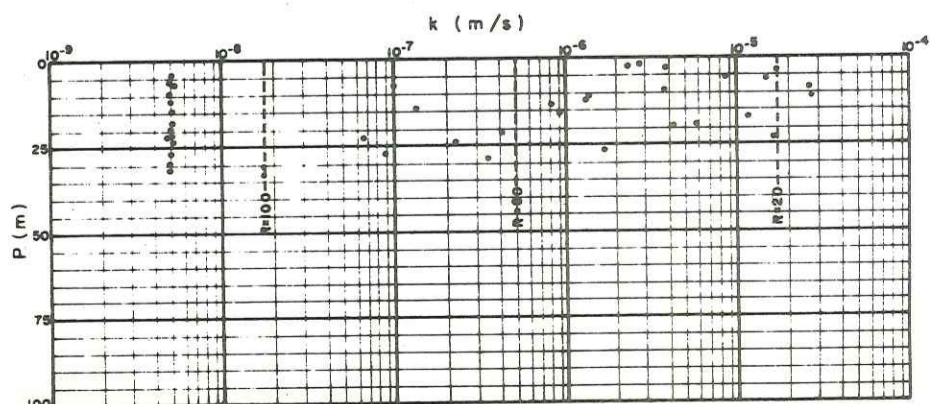
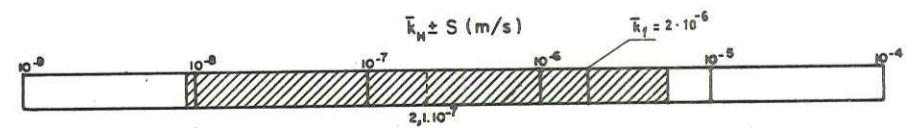
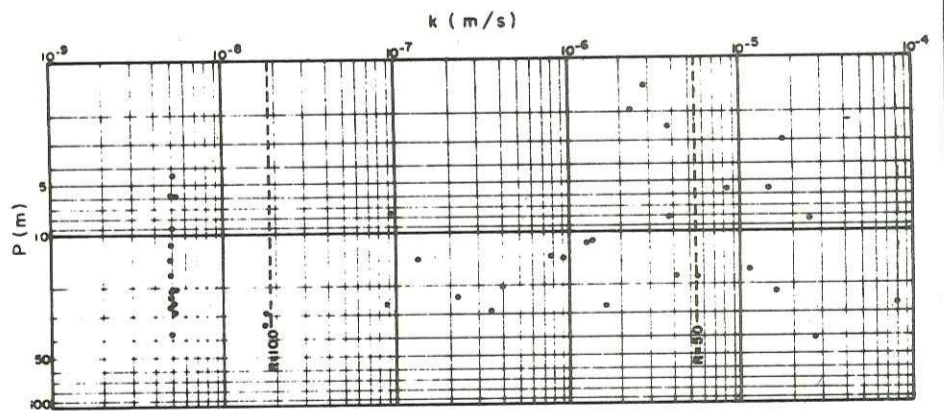
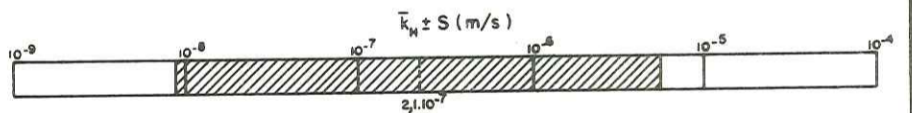
E. R. Basalte
 E. C. 6,90 m
 N. A. 2,05 m
 R. 85,5% =

$\bar{e} < 3,4$ m
 $\bar{n} > 2,58 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 282 \mu$



e

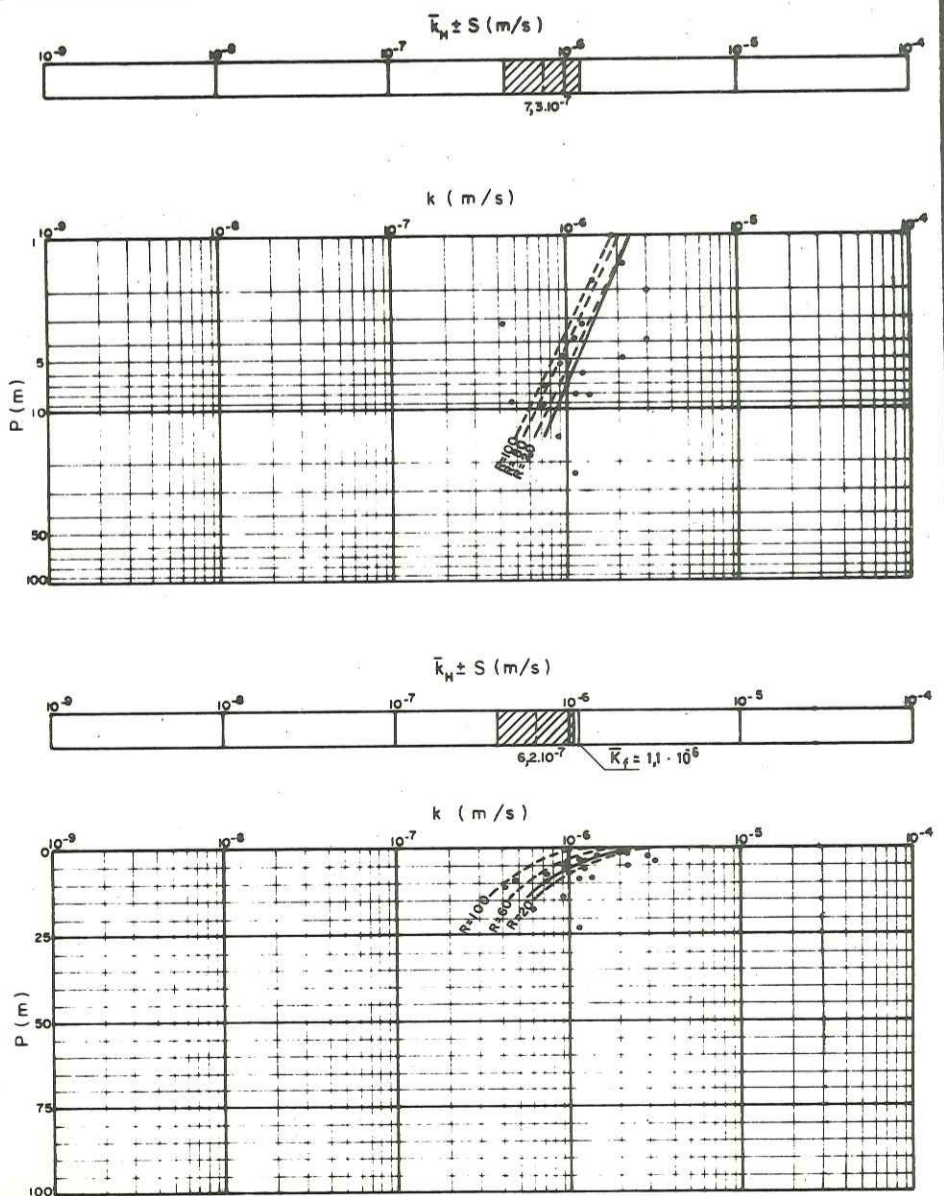
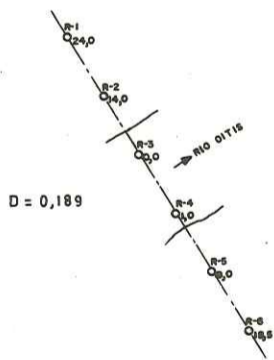
R. P.	N = 42	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 1,1 = -3,31 + (-0,0391 \pm 0,0081) R$	0,603	0,304
$\log k \pm 1,1 = -4,75 + (-0,000003 \pm 0,000001) R^3$	0,633	0,304



B. Claudio Leitão
 E. Ceará
 L. Acopiara
 R. Oitis
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1964

E R Gneiss granitise'
 \overline{EC} 0,68 m
 \overline{NA} -0,14 m
 \overline{R} 23,5 %

$\overline{e} < 10$ m
 $\overline{n} > 5,56 \cdot 10^{-4}$
 $\overline{\sigma} < 189 \mu$



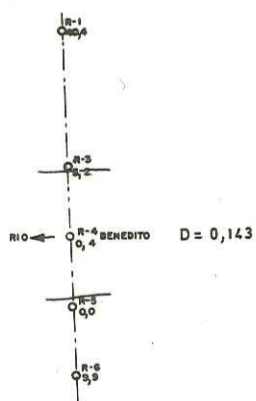
e - 1:4000

R F	N = 21	
	R M	R C
$\log k \pm 0,17 = -5,64 + (-0,418 \pm 0,11) \log P$	0,655	0,423
$\log k \pm 0,14 = -5,41 + (-0,170 \pm 0,057) \log R + (-0,468 \pm 0,094) \log P$	0,786	0,509
$\log k \pm 0,15 = -5,61 + (-0,0616 \pm 0,013) P + (0,000089 \pm 0,000026) P^2$	0,752	0,509
$\log k \pm 0,14 = -5,54 + (-0,00349 \pm 0,0014) R + (-0,0564 \pm 0,012) P + (0,000073 \pm 0,000024) P^2$	0,821	0,563

B. Benedito II
 E. Santa Catarina
 L. Vale do rio Itajai
 R. Benedito
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1961

E. R. Hornblende biotite gn.
 $\bar{E}C$ 10,50 m
 $\bar{N}A$ 4,50 m
 \bar{R} 79,3%

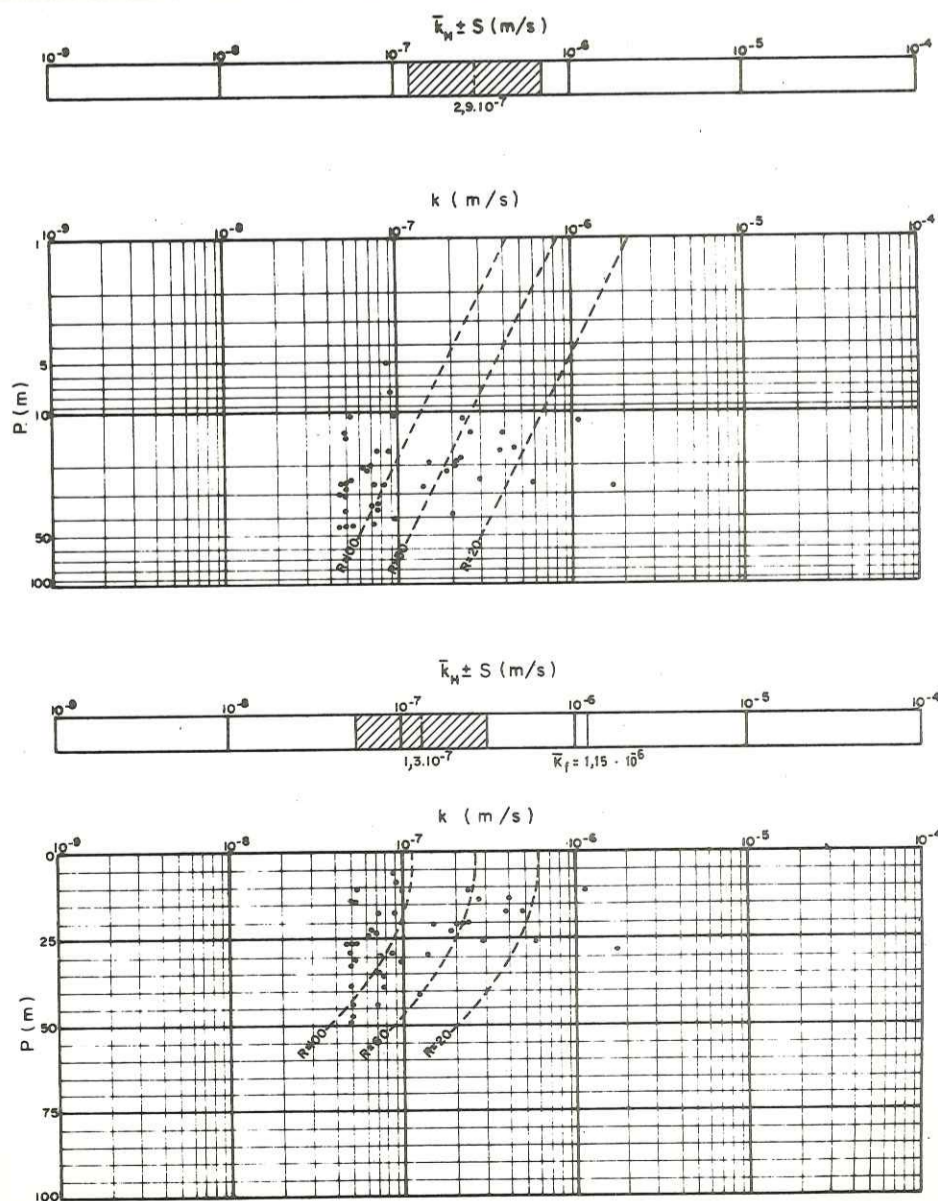
$\bar{e} < 1,0$ m
 $\bar{n} > 2,66 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{o} < 89 \mu$



$\bar{e} - 1:4000$

R P	N = 44	
	R M	R C
$\log k \pm 0,32 = -5,03 + (-1,01 \pm 0,23) \log R$	0,561	0,292
$\log k \pm 0,31 = -4,36 + (-1,01 \pm 0,22) \log R + (-0,498 \pm 0,22) \log P$	0,623	0,365
$\log k \pm 0,33 = -6,18 + (-0,00949 \pm 0,0023) R$	0,531	0,292
$\log k \pm 0,31 = -6,03 + (-0,00917 \pm 0,0022) R + (-0,000200 \pm 0,000079) P^2$	0,615	0,365

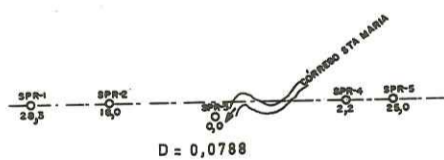
DESSIN 13



B. Santa Maria
 E. Distrito Federal
 L. Brasilia
 R. Córrego Sta. Maria
 C. D.A.E. - NOVACAP
 E. Sondotécnica
 A. 1968

E. R. Ardoise
 $\bar{E}C$ 9,30 m
 $\bar{N}A$ 8,70 m
 \bar{R} 16,3%

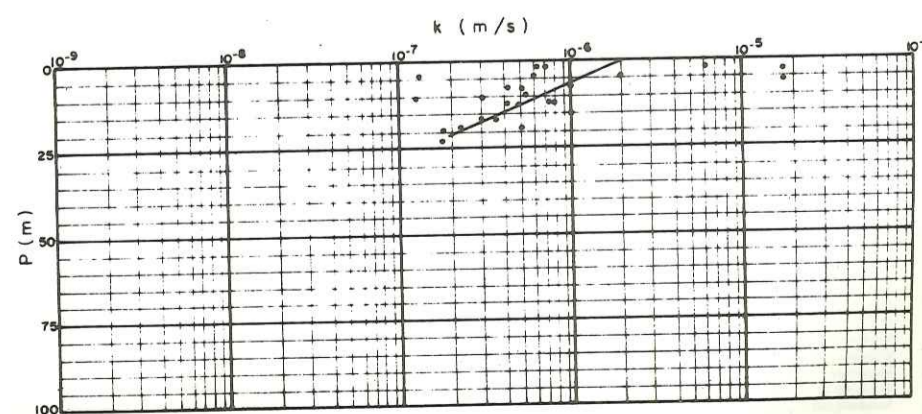
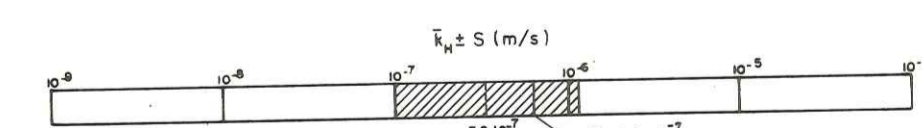
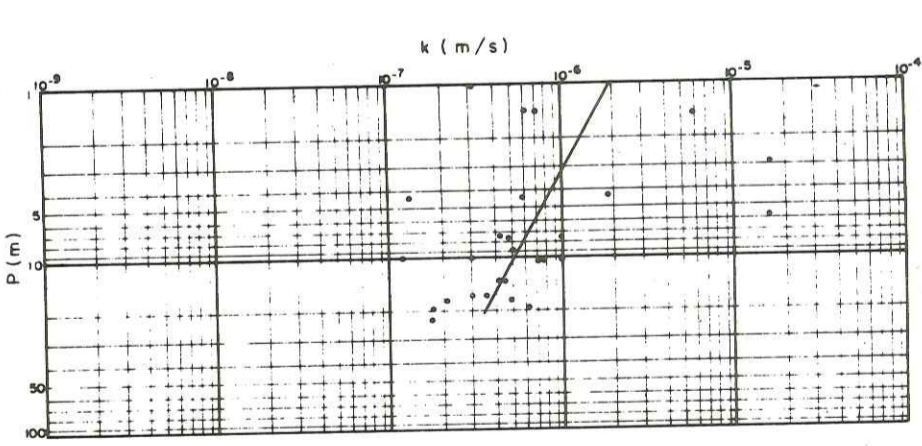
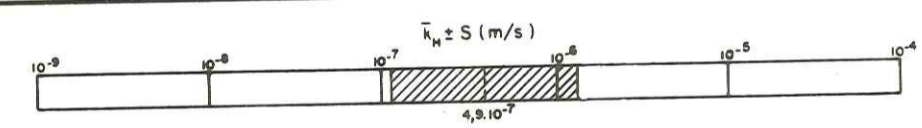
$\bar{e} < 1,0$ m
 $\bar{n} > 4,62 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{o} < 154 \mu$



e - 1:10000

R P	N = 26	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,51 = -5,72 + (-0,563 \pm 0,26) \log P$	0,398	0,374
$\log k \pm 0,48 = -5,70 + (-0,0480 \pm 0,016) P$	0,527	0,374

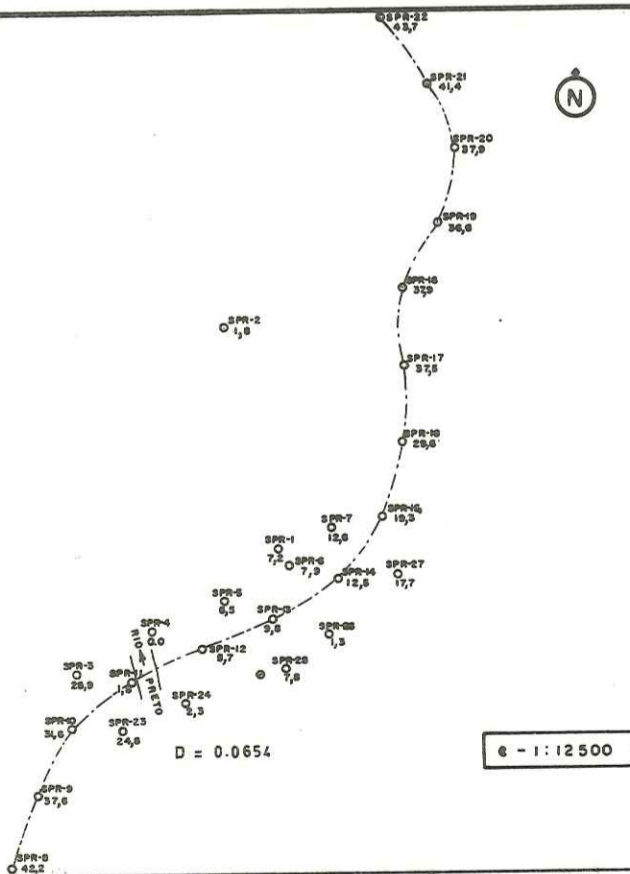
DESSIN 14



B. São Bernardo
 E. Distrito Federal
 L. S. Bernardo
 R. Preto
 C. NOVACAP
 E. Sondotécnica
 A. 1966

E. R.: Ardoise et metasiltite
 $\bar{E.C.}$ 8,90m
 $\bar{N.A.}$ 8,40m
 $\bar{R.}$ 65,8%

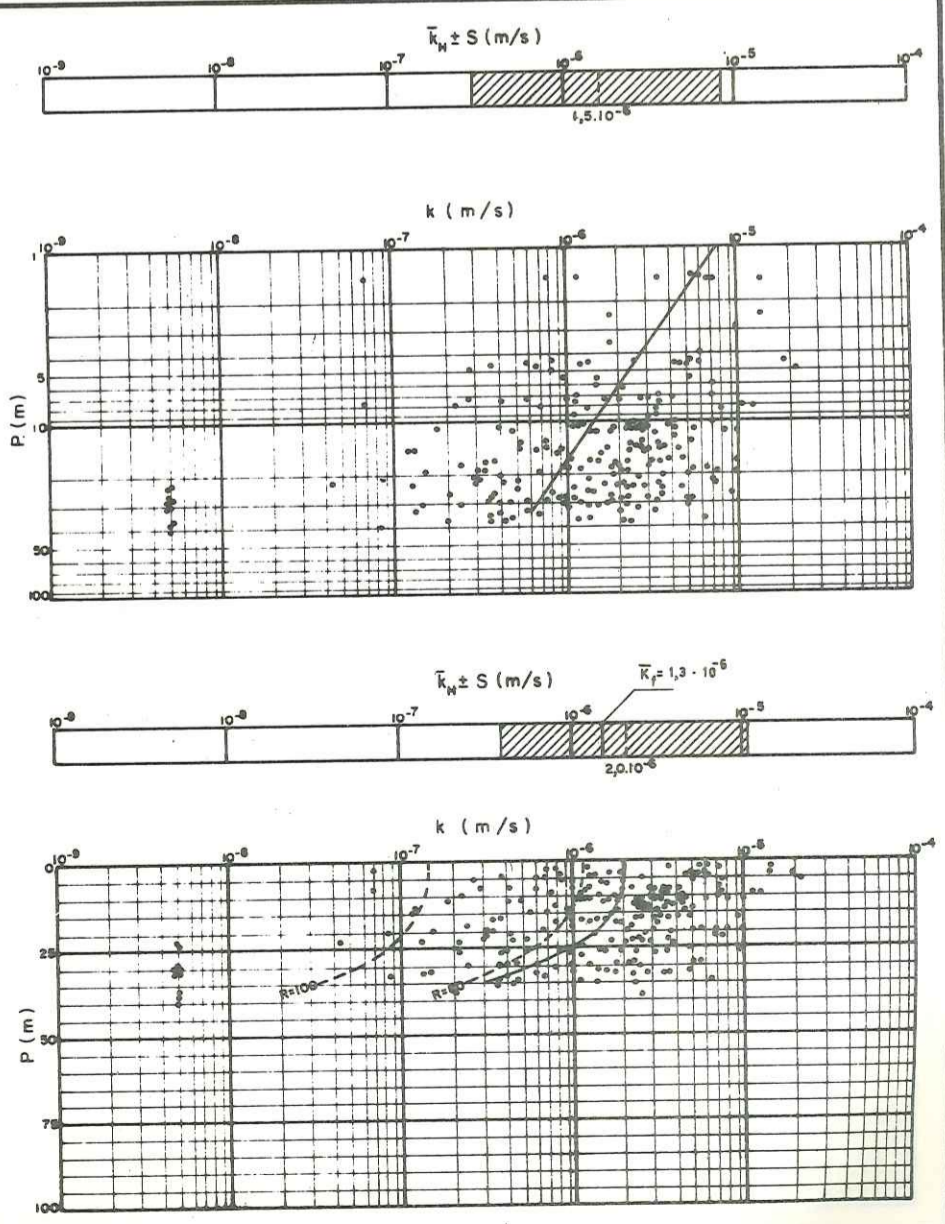
$\bar{e} < 1,1$ m
 $\bar{n} > 5,81 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 214 \mu$



e - 1:12500

R. P.	N = 230	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,67 = -5,12 + (-0,703 \pm 0,13) \log P$	0,328	0,130
$\log k \pm 0,65 = -5,69 + (-0,000021 \pm 0,000003) P^2$	0,400	0,130
$\log k \pm 0,62 = -6,00 + (0,000377 \pm 0,00010) R^2 + (-0,000004 \pm 0,000001) R^3 + (-0,000015 \pm 0,000000) P^2$	0,490	0,190

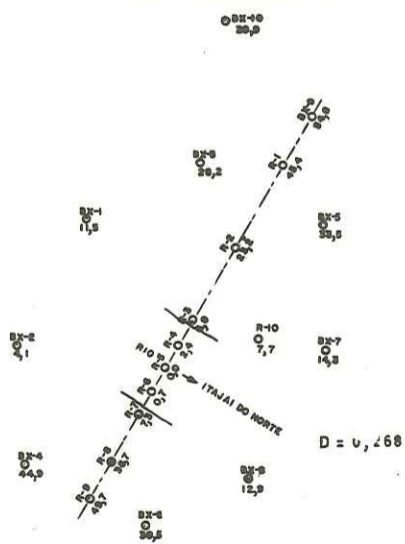
DESSIN 15



S. Norte
 E. Santa Catarina
 L. Barra do Dellman
 R. Itajai do Norte
 C. D. N. O. S.
 E. Sondotécnica
 A. 1964

E.R. Tillite
 E.C. 5,22 m
 N.A. 12,80 m
 R. 83,6%

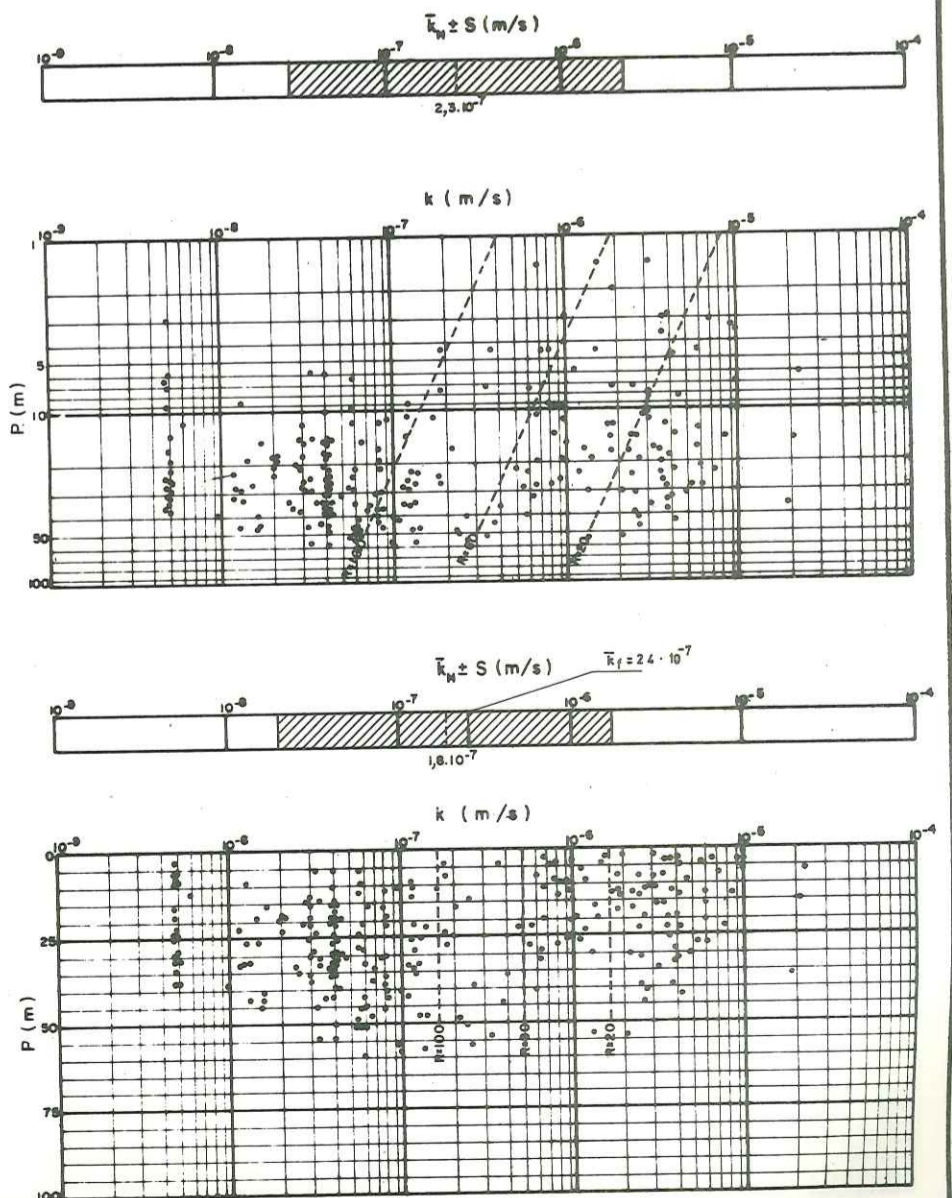
$\bar{e} = 1,4$ m
 $\bar{n} = 2,76 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{o} = 129 \mu$



1:5000

R. P.	N = 251	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0.86 = -5.05 (-0.0200 \pm 0.0025) R$	0.439	0.125
$\log k \pm 0.86 = -4.74 + (-0.0165 \pm 0.0028) R + (-0.460 \pm 0.17) \log P$	0.462	0.156
$\log k \pm 0.85 = -5.77 - 0.000001 R^3$	0.470	0.125

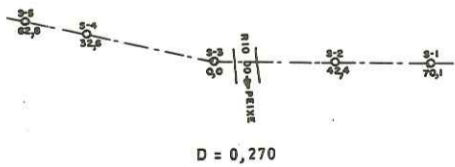
DESSIN 16



B. Rio do Peixe-2º salto
 E. Minas Gerais
 L. Juiz de Fora
 R. Peixe
 C. Hidronacional
 E. Sondotécnica
 A. 1965

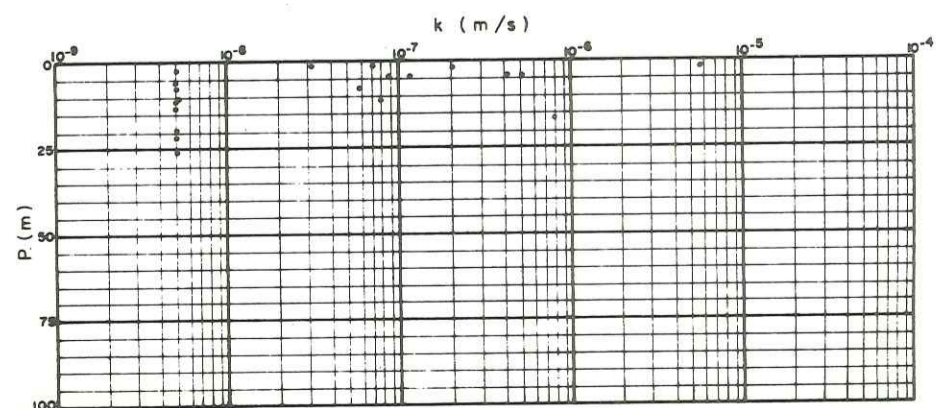
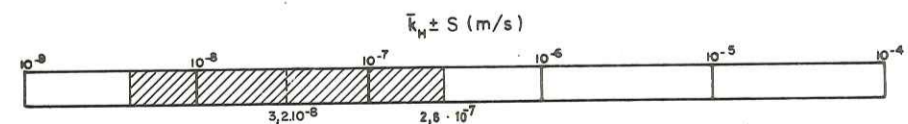
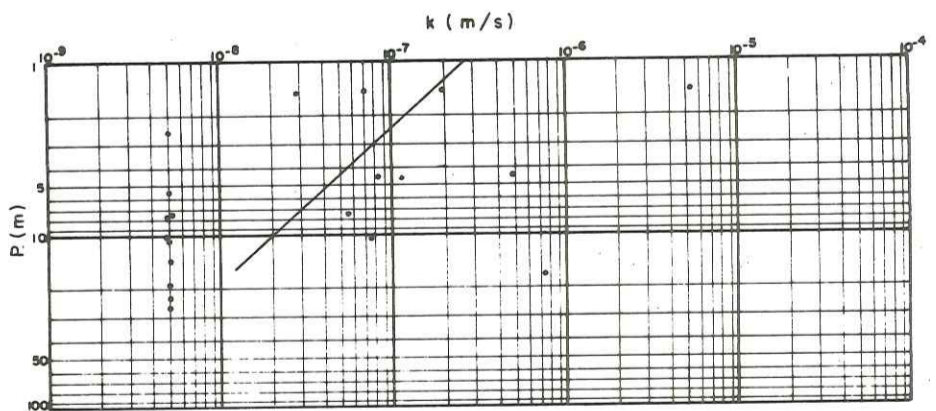
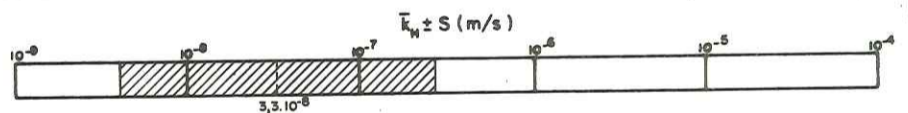
E. R. Biotite gneiss grenat.
 E.C. 17,00 m
 N.A. 28,30 m
 R 96,2%

$\bar{e} = 4,7$ m
 $\bar{n} = 1,25 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} = 196 \mu$



e - 1 : 8.000

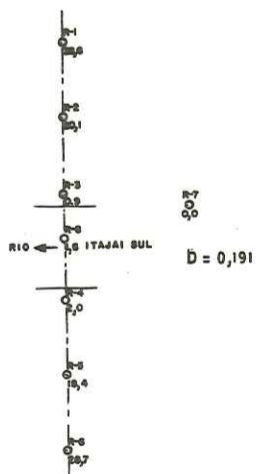
R. P.	N = 21	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,83 = -6,59 + (-1,11 \pm 0,46) \log P$	0,479	0,423



B. Itajai-Sul
 E. Santa Catarina
 L. Ituporanga
 R. Itajai-Sul
 C. D. N. O. S.
 E. Sondotécnica
 A. 1961

E. R. Arkose
 E.C. 7,10 m
 N.A. 1,83 m
 R. 84,8%

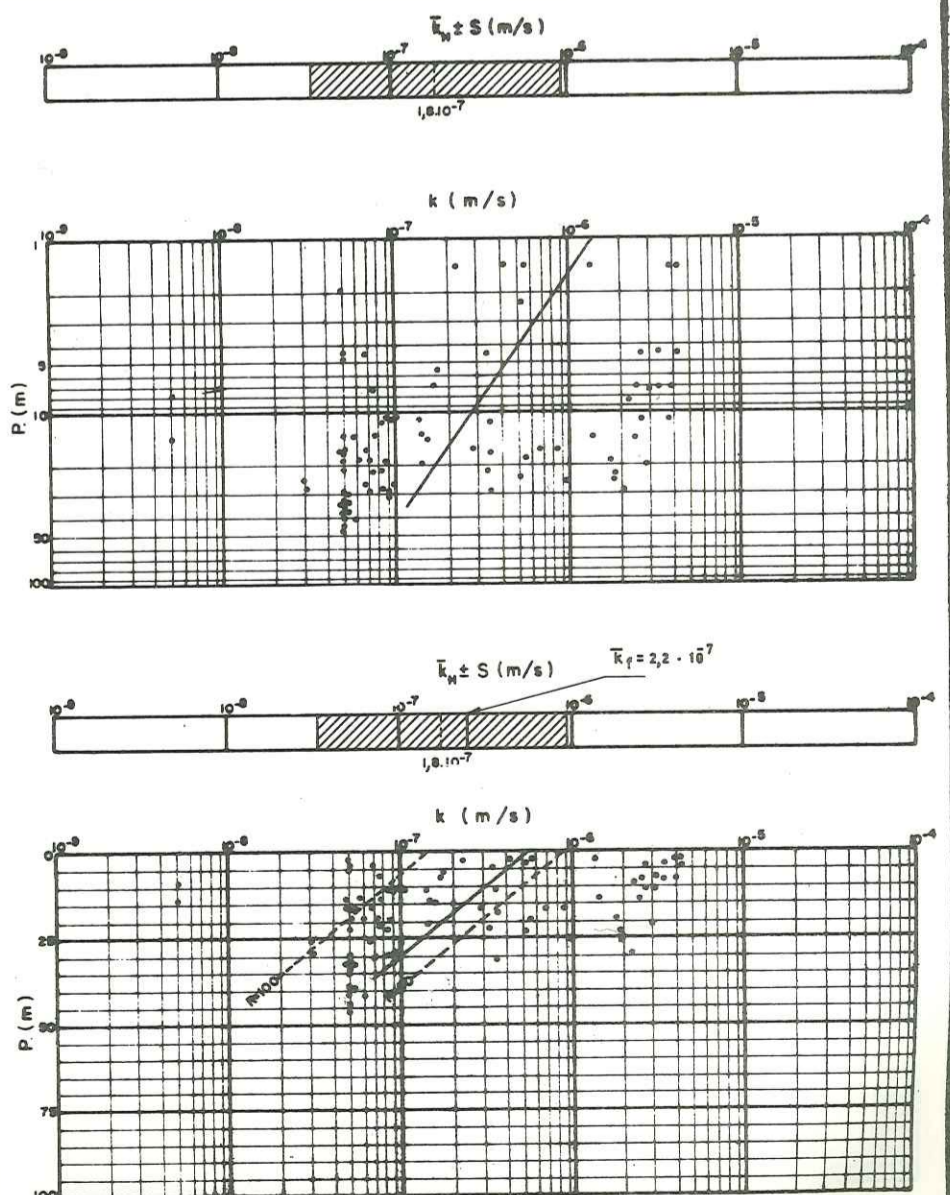
$\bar{e} = 0,9$ m
 $\bar{n} = 3,13 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} = 94 \mu$



E-1:4000

R. P.	N = 86	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,67 = -5,89 \pm (-0,707 \pm 0,18) \log P$	0,382	0,210
$\log k \pm 0,66 = -6,24 + (-0,0251 \pm 0,0063)P$	0,394	0,210
$\log k \pm 0,64 = -5,80 - 0,000001R + (-0,000001)R^2 + (-0,0246 \pm 0,0006)P$	0,472	0,292

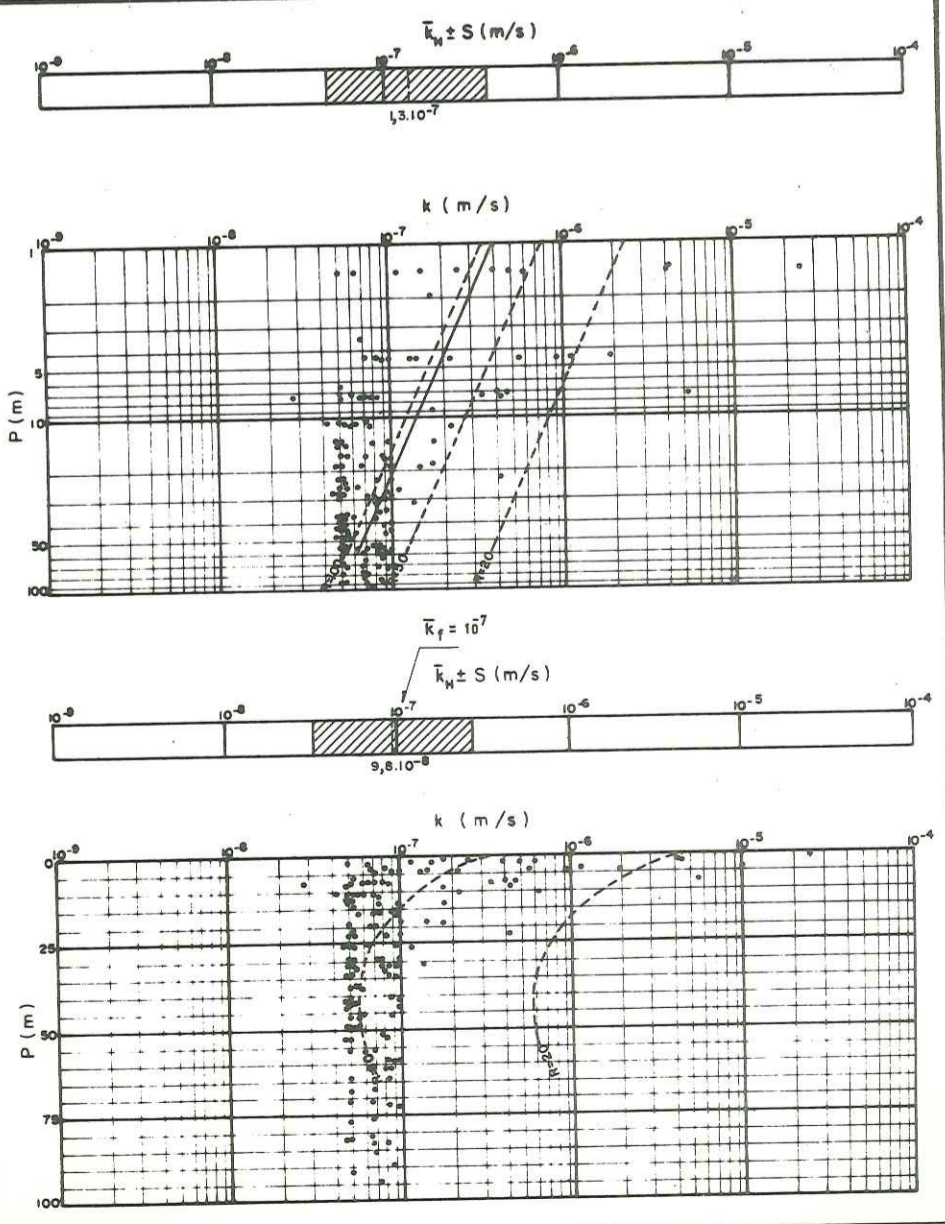
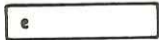
DESSIN 18



B. Salto da Divisa
 E. Minas Gerais
 L. Salto da Divisa
 R.
 C. CEMIG
 E. Sondotécnica
 A. 1965

E R. Gneiss
 E.C. 5,34 m
 N.A. 4,86 m
 R. 91,9%

$\bar{e} < 1,0$ m
 $\bar{n} > 2,48 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 82 \mu$



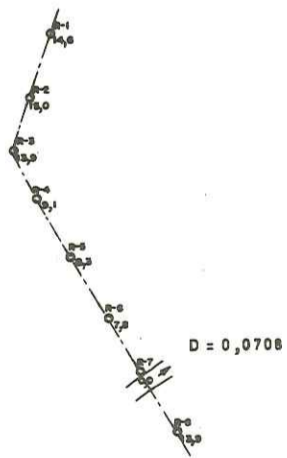
R P	N = 148	
	R M	R C
$\log k \pm 0,39 = -6,38 + (0,491 \pm 0,064) \log P$	0,530	0,163
$\log k \pm 0,39 = -4,12 + (-1,18 \pm 0,42) \log R + (-0,450 \pm 0,065) \log P$	0,563	0,201
$\log k \pm 0,39 = -6,39 + (0,0579 \pm 0,010) P + (0,00120 \pm 0,00029) P^2 + (0,000007 \pm 0,000002) P^3$	0,548	0,229
$\log k \pm 0,38 = -4,64 + (-0,0429 \pm 0,017) R + (0,000250 \pm 0,00011) R^2 + (-0,0518 \pm 0,010) P + (0,00105 \pm 0,00029) P^2 + (-0,000006 \pm 0,000002) P^3$	0,587	0,251

DESSIN 19

B. Adustino
 E. Bahia
 L. Paripiranga
 R.
 C. D. N. O.
 E. Sondotécnica
 A. 1965

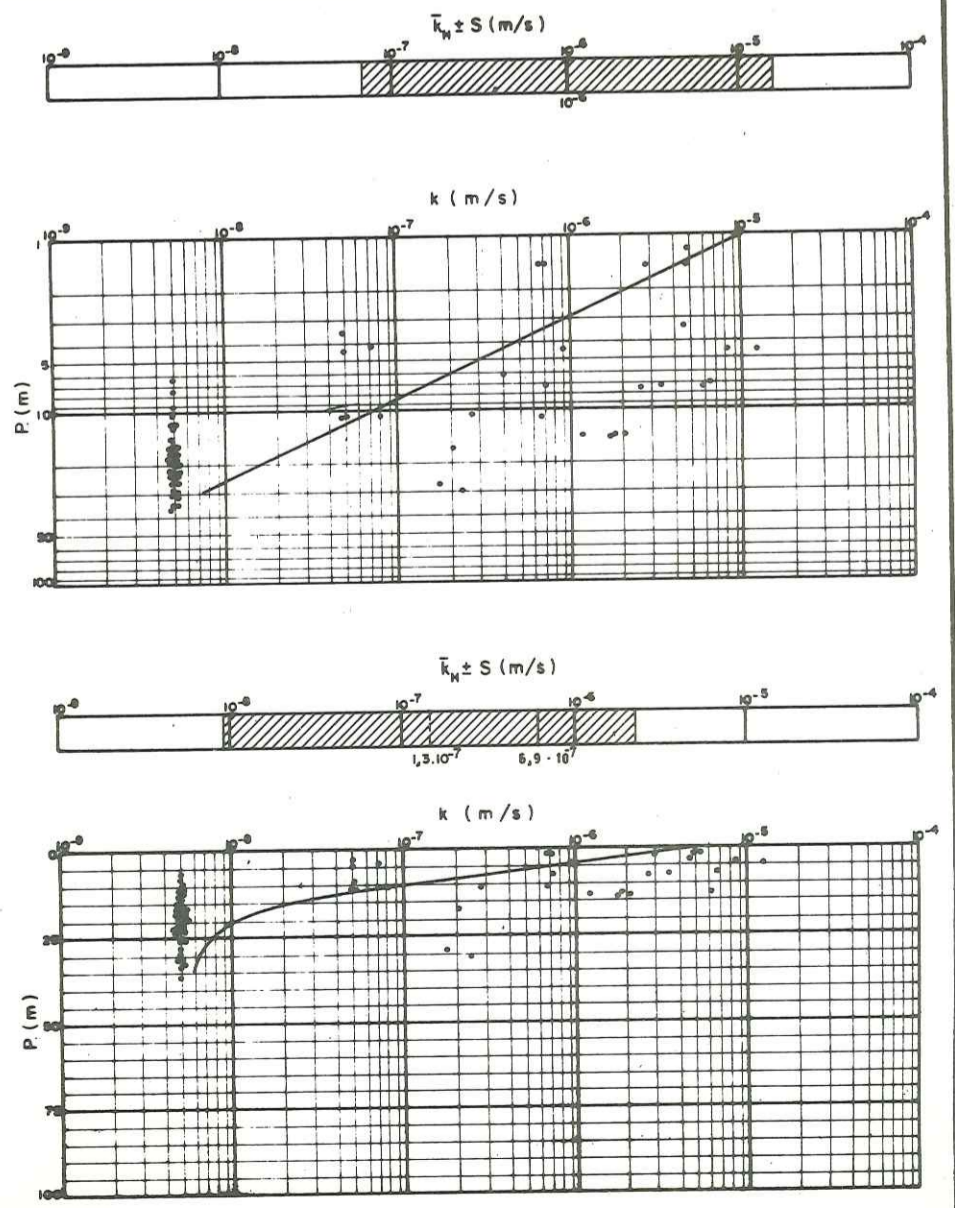
E. R. Conglomerats et siltite
 E.C. 2,40 m
 N.A. 2,90 m
 R. 42,4 %

$\bar{e} = 6,2$ m
 $\bar{n} = 1,37 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{o} = 288 \mu$



1:10.000

R. P.	N = 66	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,90 = -4,99 + (-2,17 \pm 0,30) \log P$	0,663	0,240
$\log k \pm 0,88 = -5,28 + (-0,216 \pm 0,042) P + (0,00399 \pm 0,0012) P^2$	0,689	0,292

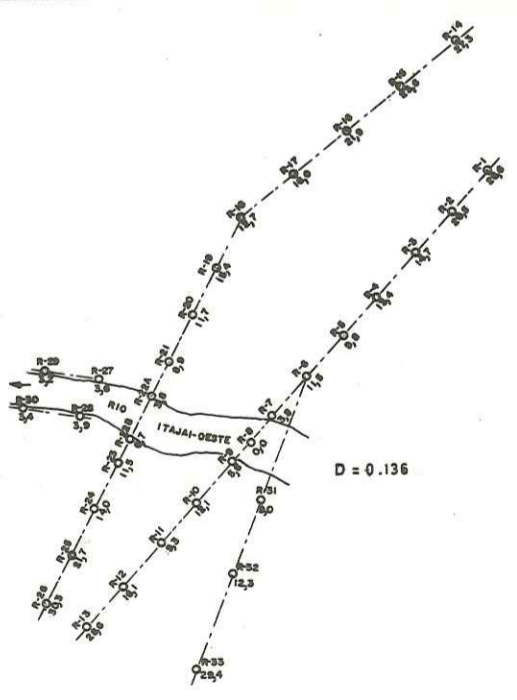


DESSIN 20

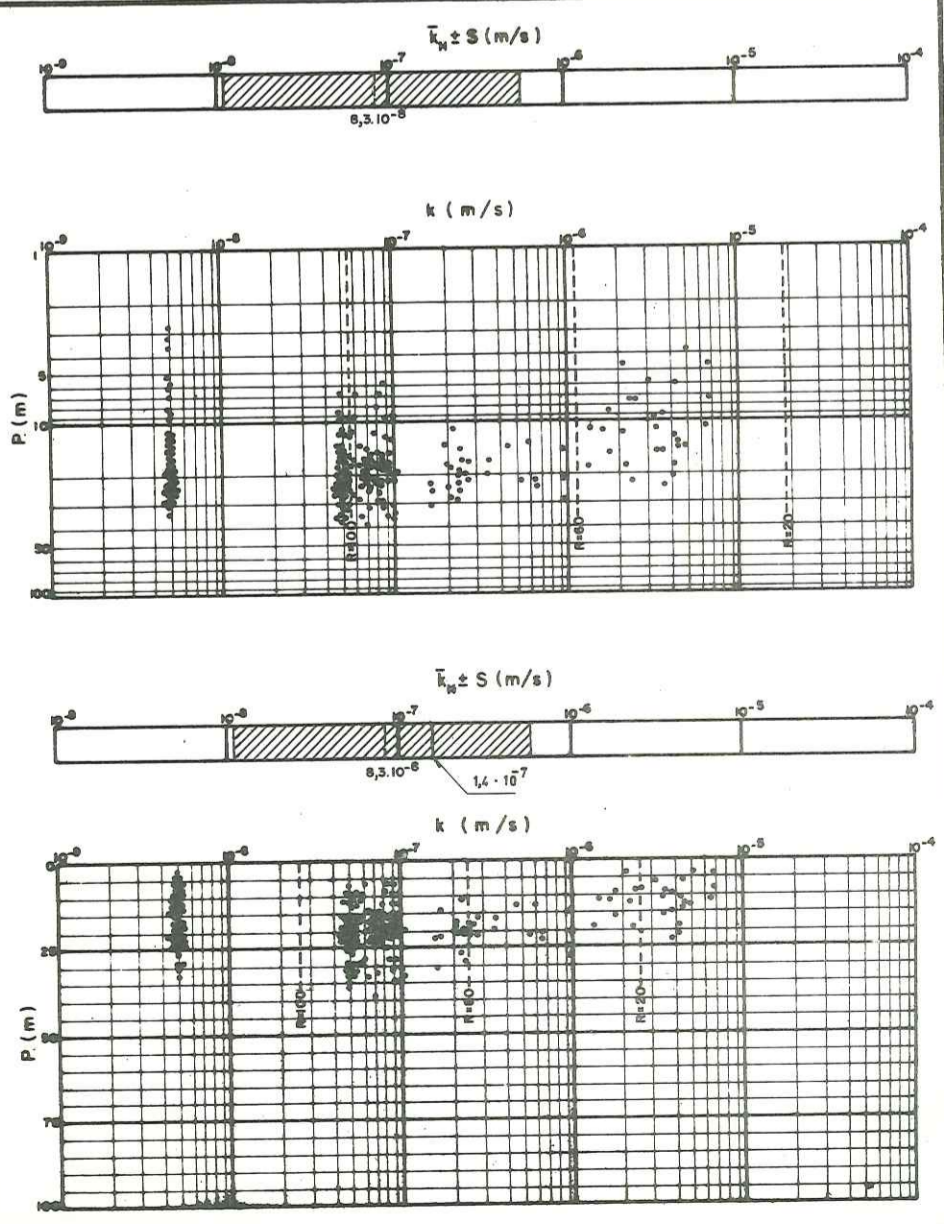
B. Oeste
 E. Santa Catarina
 L. Vale do rio Itajai
 R. Itajai Oeste
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1961

E.R. Basalte
 $\bar{E.C.}$ 8,00 m
 $\bar{N.A.}$ 7,30 m
 $\bar{R.}$ 94,6%

\bar{e} = 2,3 m
 \bar{n} = $2,11 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma}$ = 162 μ



1:5000



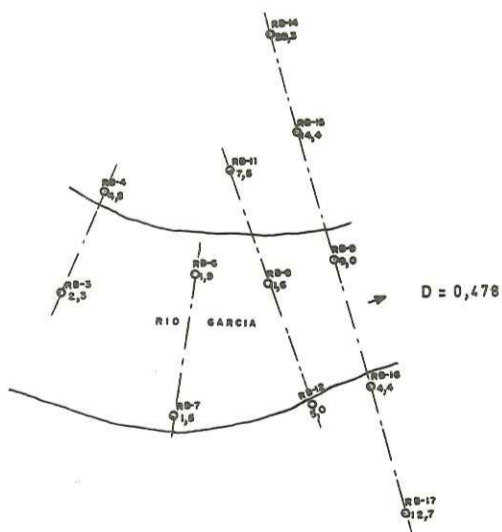
R. P.	N = 209	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,78 = -3,97 + (-0,0330 \pm 0,0051) R$	0,407	0,138
$\log k \pm 0,77 = -5,59 - 0,000002 \cdot R^2$	0,424	0,138

DESSIN 21

B. Alto Garcia
 E. Santa Catarina
 L. Vila Angelina
 R. Rio Garcia
 C. D. N. O. S.
 E. Sondotécnica
 A. 1964

E. R. Gneiss
 $\bar{E}C. 2,30 \text{ m}$
 $\bar{N}A. 0,94 \text{ m}$
 $\bar{R}. 82,5\%$

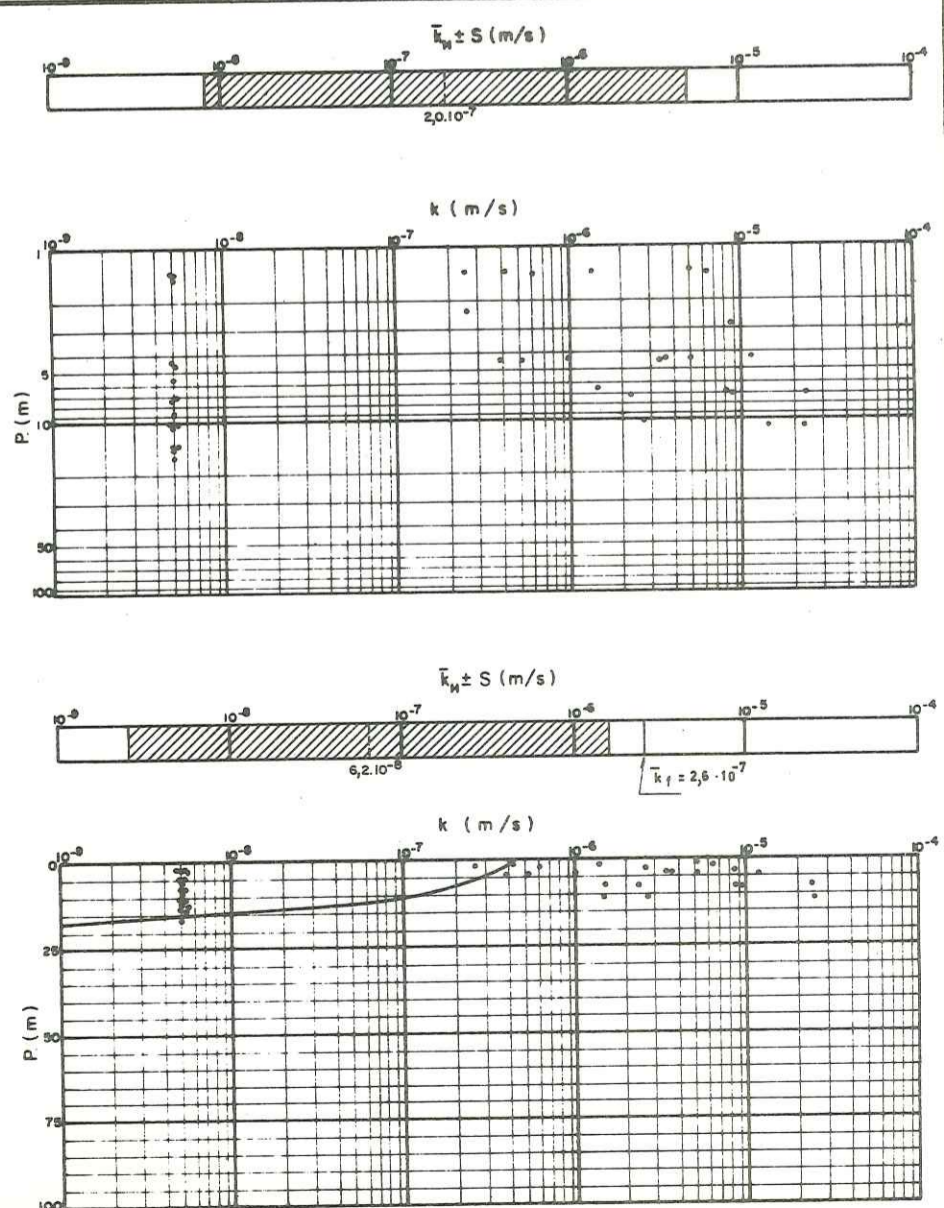
$\bar{e} = 4,2 \text{ m}$
 $\bar{n} = 2,89 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} = 405 \mu$



$e = 1:1000$

R. P	N = 39	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 1,34 = -6,38 \pm (-0,000519 \pm 0,00022) P^3$	0,351	0,307

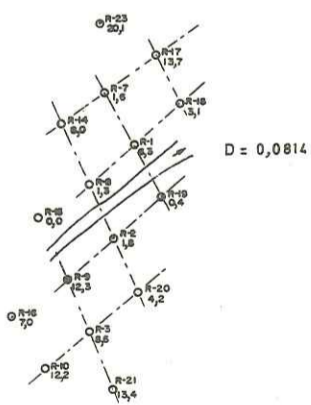
DESSIN 22



B. São Paulo do Potengi
 E. Rio Grande do Norte
 L. São Paulo do Potengi
 R. Potengi
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1963

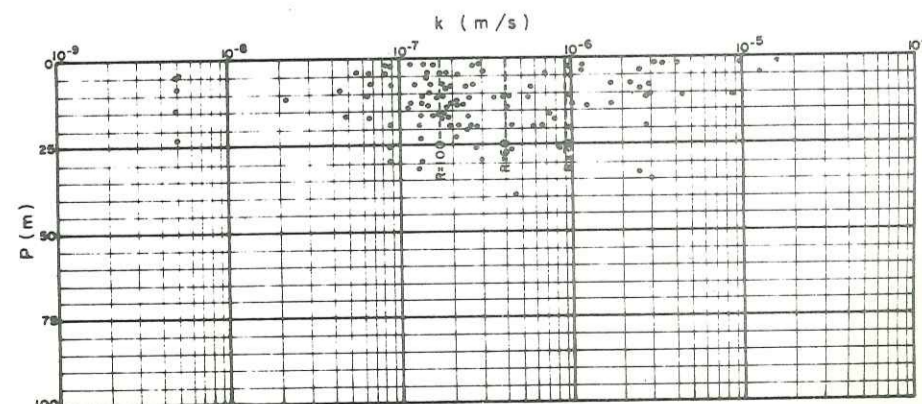
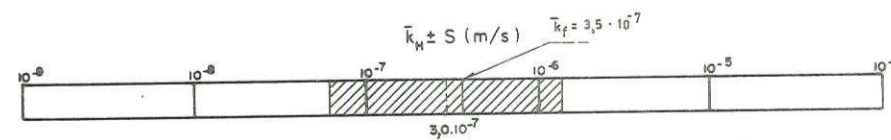
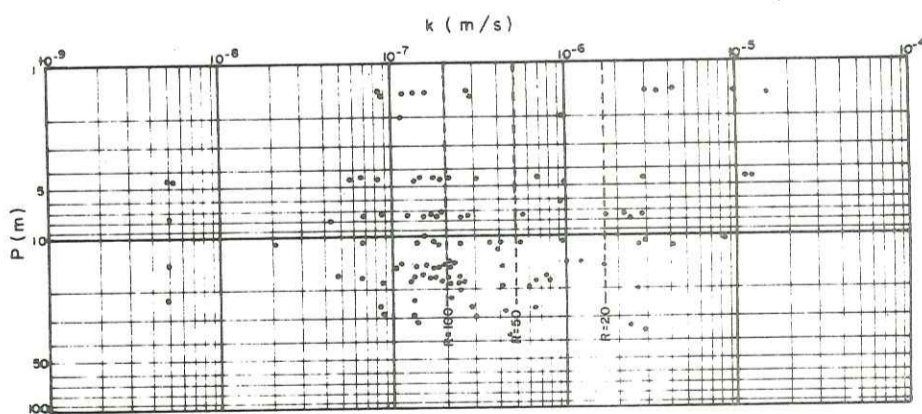
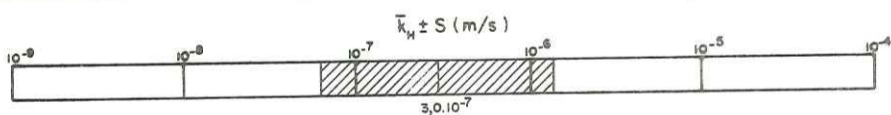
E.R. Granite
 E.C. 4,08 m
 N.A. -1,23 m
 R. 76,6%

$\bar{e} = 1,2 \text{ m}$
 $\bar{n} = 3,48 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} = 149 \mu$



e - 1:10000

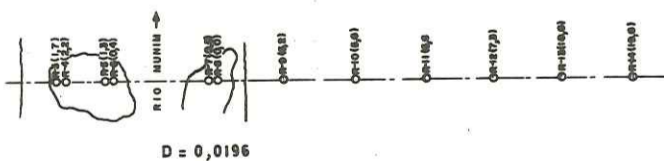
R. P.	N = 88	
	R. M.	R. C.
$\log k \pm 0,65 = -4,01 + (-1,35 \pm 0,41) \log R$	0,296	0,208
$\log k \pm 0,66 = -5,82 + (-0,00937 \pm 0,0050) R$	0,279	0,208



B. Munim
 E. Maranhão
 L. Cachoeira
 R. Munim
 C. D. N. O. S.
 E. Sondotécnica
 A. 1966

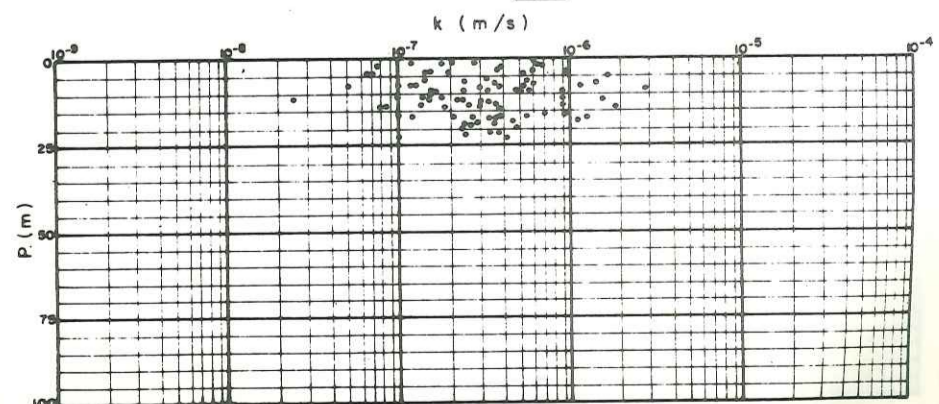
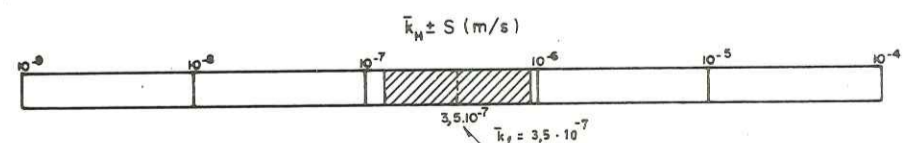
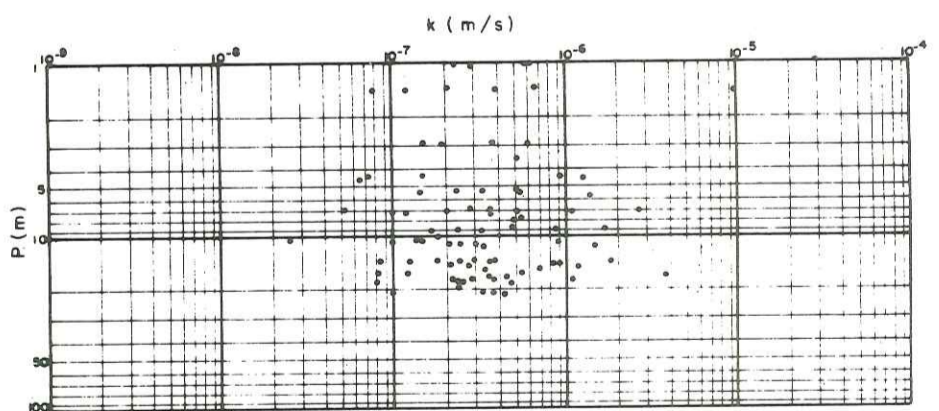
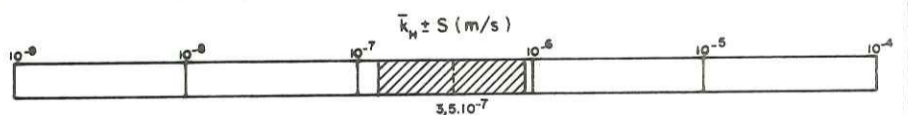
E.R. Granite
 E.C. 7,50m
 N.A. -1,10m
 R. 85,0%

$e < 1,0$ m
 $n > 3,89 \cdot 10^{-4}$
 $\sigma < 129 \mu$



e 1:10,000

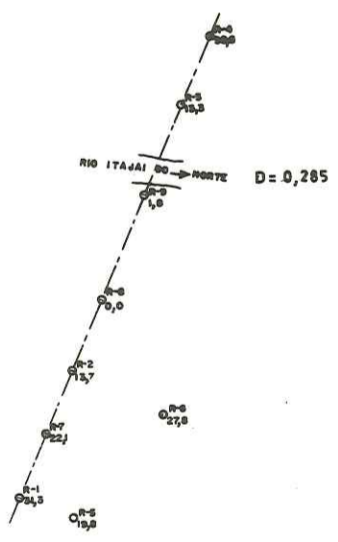
R. P.	N = 89	
	R. M.	R. C.



B. Rafael
 E. Santa Catarina
 L. Vale do rio Itajai
 R. Itajai do Norte
 C. D.N.O.S.
 E. Sondotécnica
 A. 1961

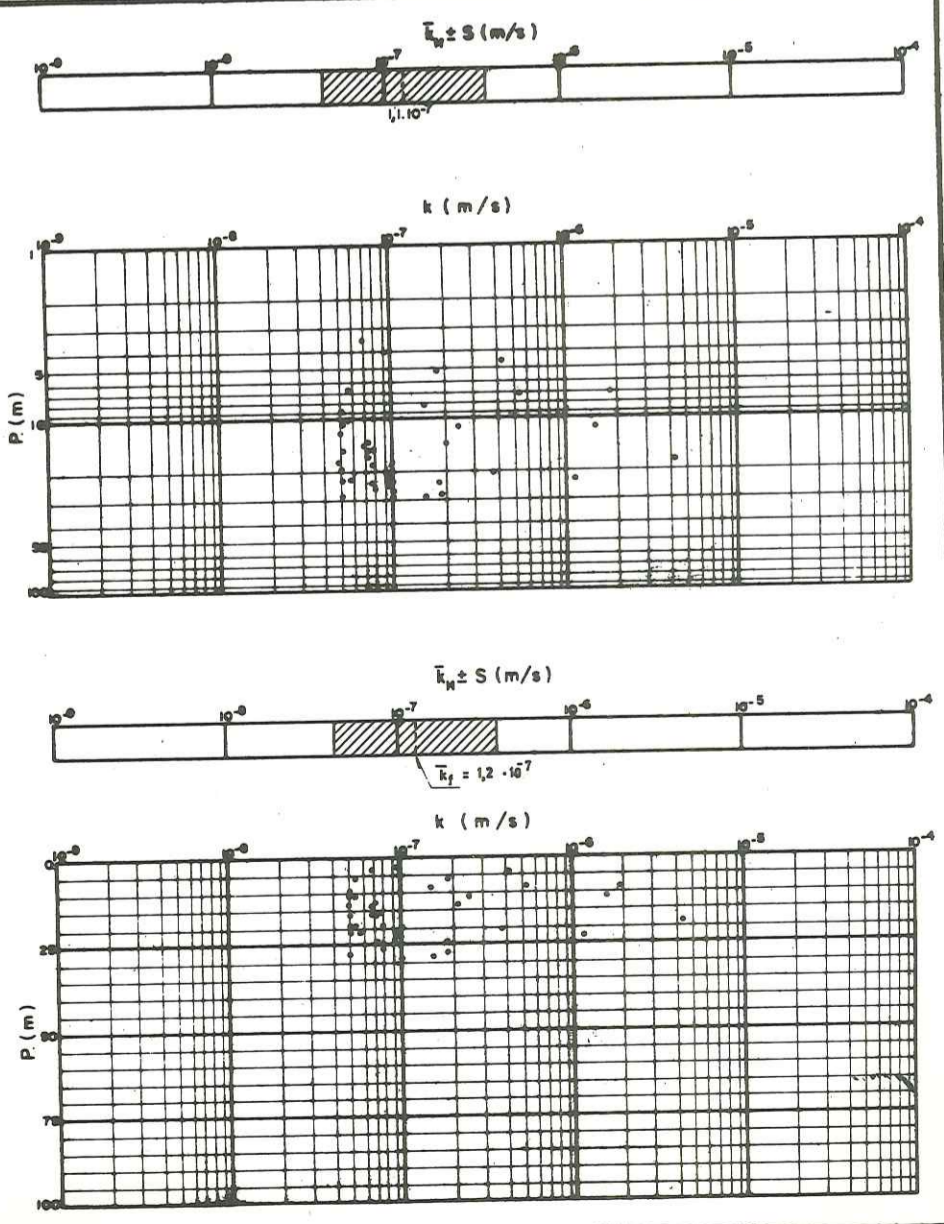
E.R. Hornblende gneiss
 $\bar{E.C.} = 9,70 \text{ m}$
 $\bar{N.A.} = 5,76 \text{ m}$
 $\bar{R.} = 72,8\%$

$\bar{e} < 10 \text{ m}$
 $\bar{n} > 2,82 \cdot 10^{-4}$
 $\bar{\sigma} < 90 \mu$



$e = 1:4000$

R. P.	N = 40	
	R. M.	R. C.



DESSIN 25

ii) Les régimes non linéaires avec des rapports $\Delta Q / \Delta H$ croissants (RP) probablement indiquent le déboufrage des diaclases et/ou l'augmentation (par déformation du milieu dû à l'accroissement de la pression hydrodynamique) de son ouverture pendant les essais. Les comportements non linéaires avec des rapports $\Delta Q / \Delta H$ décroissants (RT) certainement indiquent un régime turbulent et/ou une occlusion partielle des diaclases.

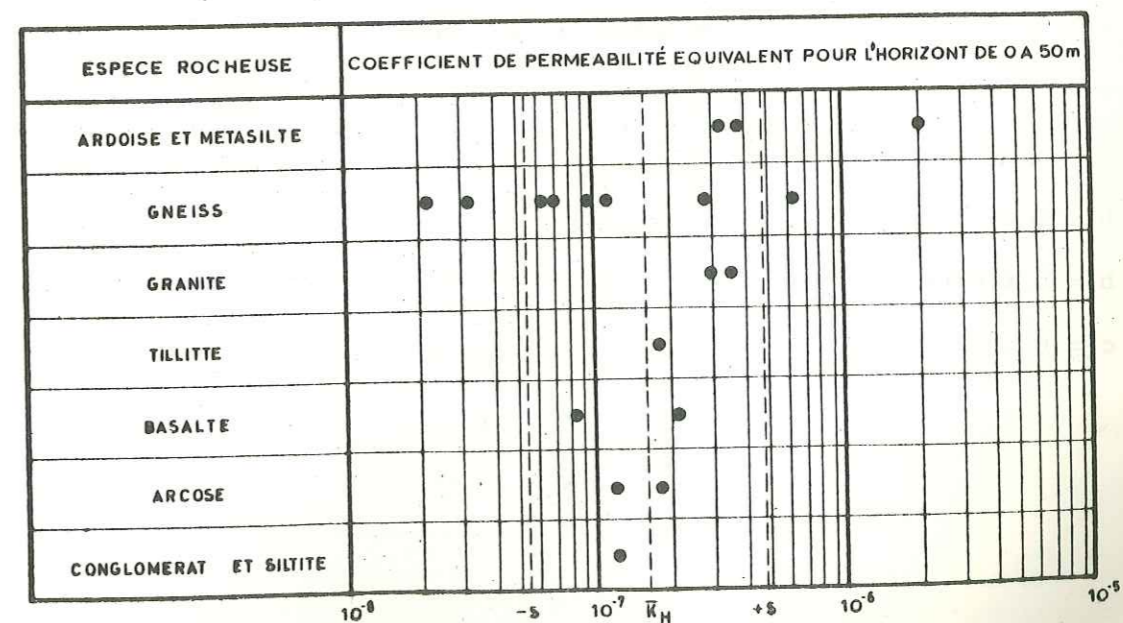
iii) Le pourcentage RT (régime en grande partie présumé turbulent) à très peu dépassé les 10%. Étant donné que RT décroît en proportion directe avec le gradient hydraulique, on peut supposer qu'une grande partie du flux sous-superficiel des aménagements, signalé par des gradients sensiblement inférieurs à ceux vérifiés aux essais, possède un caractère essentiellement linéaire, face au comportement probablement temporaire des autres effets (RP et RI).

: Identification des sous-ensembles

i) Les comparaisons:

- . Résultats vis à vis des coordonnées géographiques
- . Résultats vis à vis des informations non numériques

n'ont pas permis la mise en évidence de groupes distinctes, même parmi les aménagements voisins (voir tableau suivant; dessins 4, 5 et 26).



Il en résulte que, la présentation des résultats des essais avec des informations très générales ne convient pas. Seules des données détaillées (bien que synthétiques) conduisent éventuellement à des conclusions compréhensibles.

ii) L'appréciation simultanée des degrés de corrélations individuels parmi $\log K$ et les paramètres $\log P$, P , P^2 , P^3 , $\log R$, R , R^2 , R^3 (dessin 24) a permis seulement l'identification de 3 sous-ensembles pas très différents entre eux. L'amplitude appréciable du sous-groupe principal (en particulier en admettant sa fusion avec les sous-groupes marginaux) a suggéré des rapports continus entre les grandeurs étudiées, en stimulant la recherche de nouvelles régressions.

: Régressions générales $K = f(P,R)$

i) Pour les 1 625 valeurs K,P,R , les termes R^3 et P (surtout R^3) ont accusé la plus grande contribution pour la détermination de K , définissant les régressions générales (dessin 27):

$$K = e^{-(a+b R^3)}$$

$$K = e^{-(a'+b'R^3+c'P)}$$

où:

K - coefficient de perméabilité (en m/s)

$e = 2,72$ (base des logarithmes neperiens)

$a = 13,9$

$a' = 13,6$

$b = 0,00000 299$

$b' = 0,00000 287$

$c' = 0,0239$

DEGRÉS DE CORRELATION

BARRAGE	ESPECE ROCHEUSE	VARIABLES										VALEUR MOYENNE	SOUS ENSEMBLES
		$\log R$	$\log P$	R	R^2	R^3	P	P^2	P^3				
RAFAEL	HORNBLÉNDE GNEISS	0,097	0,096	0,118	0,127	0,125	-0,109	-0,099	-0,087	+0,034			⊙
MUNIM	GRANITE	0,070	-0,043	-0,097	-0,170	-0,201	-0,030	-0,026	-0,031	-0,066			•
POTENGI	GRANITE	-0,296	-0,159	-0,279	-0,261	-0,245	-0,061	-0,003	-0,034	-0,165			•
GARCIA	GNEISS	-0,113	-0,199	-0,125	-0,136	-0,144	-0,293	-0,341	-0,351	-0,213			•
OESTE	BASALTE	-0,391	-0,129	-0,407	-0,417	-0,424	-0,150	-0,145	-0,129	-0,274			•
ADUSTINA	CONGLOMERAT ET SILTITE	-0,000	-0,663	-0,025	-0,056	-0,087	-0,619	-0,512	-0,422	-0,298			•
SALTO DA DIVISA	GNEISS	-0,305	-0,530	-0,267	-0,234	-0,208	-0,383	-0,273	-0,212	-0,302			•
ITAJAI-SUL	ARKOSE	-0,192	-0,382	-0,229	-0,255	-0,272	-0,394	-0,371	-0,344	-0,305			⊙
PEIXE II	BIOTITE GNEISS GRANATIFERE	-0,259	-0,479	-0,247	-0,254	-0,262	-0,429	-0,368	-0,334	-0,327			•
NORTE	TILLITE	-0,392	-0,330	-0,439	-0,460	-0,470	-0,275	-0,212	-0,164	-0,343			•
S. BERNARDO	ARDOISE ET METASILTITE	-0,281	-0,328	-0,281	-0,325	-0,356	-0,384	-0,399	-0,400	-0,344			•
STA MARIA	ARDOISE	-0,082	-0,398	-0,226	-0,284	-0,298	-0,527	-0,492	-0,453	-0,345			•
BENEDITO	HORNBLÉNDE BIOTITE GNEISS	-0,561	-0,273	-0,531	-0,473	-0,428	-0,325	-0,339	-0,334	-0,408			•
CLAUDIO LEITÃO	GNEISS GRANITISE	-0,311	-0,655	-0,384	-0,450	-0,496	-0,539	-0,352	-0,219	-0,426			•
IGARAPAVA	BASALTE	-0,551	-0,290	0,603	-0,626	-0,633	-0,293	-0,393	-0,292	-0,448			•
SUBIDA	ARKOSE	-0,447	-0,630	-0,447	-0,427	-0,407	-0,545	-0,464	-0,405	-0,472			•
PEIXE I	BIOTITE GNEISS GRANATIFERE	-0,638	-0,478	-0,630	-0,621	-0,612	-0,466	-0,385	-0,313	-0,518			⊙
AIMORÉS	GNEISS	-0,796	-0,584	-0,814	-0,813	-0,799	-0,513	-0,416	-0,337	-0,634			•
QUEIMADO	METASILTITE	-0,641	-0,686	-0,732	-0,780	-0,804	-0,775	-0,766	-0,722	-0,738			•
	VALEUR MOYENNE	-0,319	-0,375	-0,350	-0,364	-0,377	-0,374	-0,329	-0,299				•

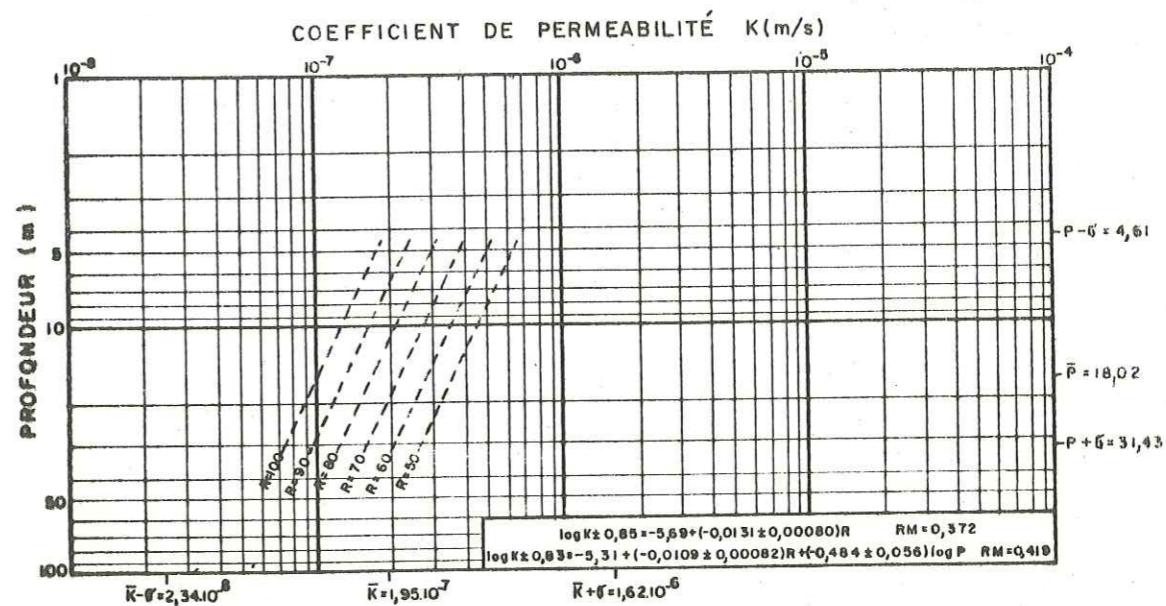
⊙ - GROUPE APPARTENANT AU SOUS ENSEMBLE

• - GROUPE TYPIQUE DU SOUS ENSEMBLE

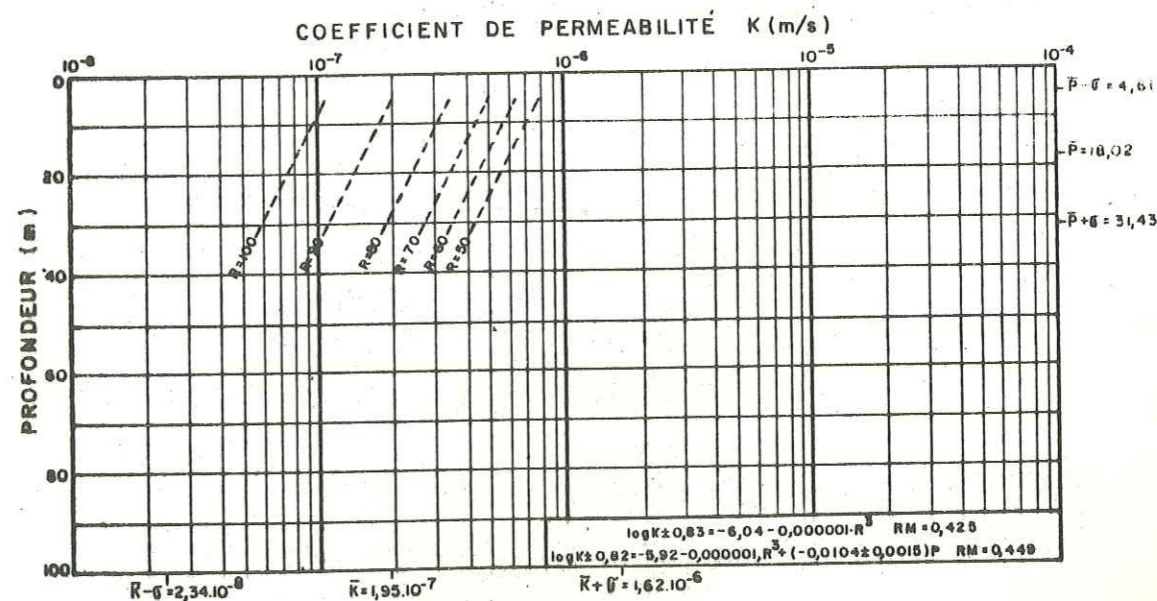
REGRESSIONS GENERALES

-NOMBRE D'OBSERVATIONS: 1665
 -MOYENNES ET ÉCART TYPE DES VARIABLES:
 LOGARITHME DU COEFFICIENT DE PERMEABILITÉ: $\log K = -6.71 \pm 0.92$
 PROFONDEUR: $P = 18.02 \pm 13.41$
 RECUPERATION: $R = 77.94 \pm 26.19$ (DISTRIBUTION ASYMÉTRIQUE)

REGRESSION LOGARITHMIQUE



REGRESSION POLYNOMALE



ii) Les écarts élevés et les degrés de corrélation multiple réduits ressortent du caractère général de l'analyse (amples variations des valeurs K, P, R).

$$: \text{Régressions } \bar{K}_f, \bar{K}_H)_o^{50} = f(\overline{EC}, \overline{NA}, \bar{R}, \bar{D})$$

i) Seules les variables, \bar{R} , \bar{D} ont influencé de manière significative la détermination des paramètres $\bar{K}_H)_o^{50}$ et \bar{K}_f (notamment \bar{D} , dont la valeur suggère grossièrement le stade d'évolution géomorphologique du relief, qui est d'autant plus dégradé que \bar{D} est plus réduit), définissant les régressions (dessin 28);

$$\begin{aligned} \bar{K}_H)_o^{50} &= e^{-(a''+b'' D+c'' R^3)} \\ \bar{K}_f &= e^{-(a''' + b''' D + c''' R^3)} \end{aligned}$$

où:

- $\bar{K}_H)_o^{50}$ - coefficient de perméabilité horizontale moyen (en m/s)
- \bar{K}_f - coefficient de perméabilité moyen des zones fissurées (en m/s)
- e = 2,72 (base de logarithmes neperiens)
- a'' = 6,01
- a''' = 6,05
- b'' = 1,57
- b''' = -1,87 (noter le signal contraire à celui de b'')
- c'' = 0,000000 836
- c''' = 0,000000 102

ii) Les coefficients de corrélation multiple relativement élevés (si l'on considère qu'ils correspondent à des régressions représentatives des conditions naturelles), 0,801 pour $\bar{K}_H)_o^{50}$ et 0,765 pour \bar{K}_f , impriment une signification appréciable aux résultats.

iii) Les tendances nettement opposées des variables \bar{K}_H^{50} et \bar{K}_k (revoir dessin 28) indiquent l'existence d'une proportionnalité directe parmi \bar{D} et les paramètres \bar{e} et \bar{o} . En fait, comme \bar{K}_f décroît avec \bar{D} , en exprimant une réduction de \bar{o} (valeur moyenne de l'ouverture, pas valeur maximum), seule une diminution simultanée de \bar{e} peut contribuer à la majoration vérifiée pour \bar{K}_H^{50} .

: Régressions $\bar{e}, \bar{n}, \bar{o} = f(\bar{R}, \bar{D})$

i) Seule la variable \bar{D} a influé de façon significatif sur les déterminations de $\bar{e}, \bar{n}, \bar{o}$, définissant les régressions (dessins 29, 30):

$$\begin{aligned} \bar{e} &= A + \bar{B}\bar{D} \\ \bar{n} &= A' + B'/\bar{D} \\ \bar{o} &= A'' + B''\bar{D} \end{aligned}$$

où:

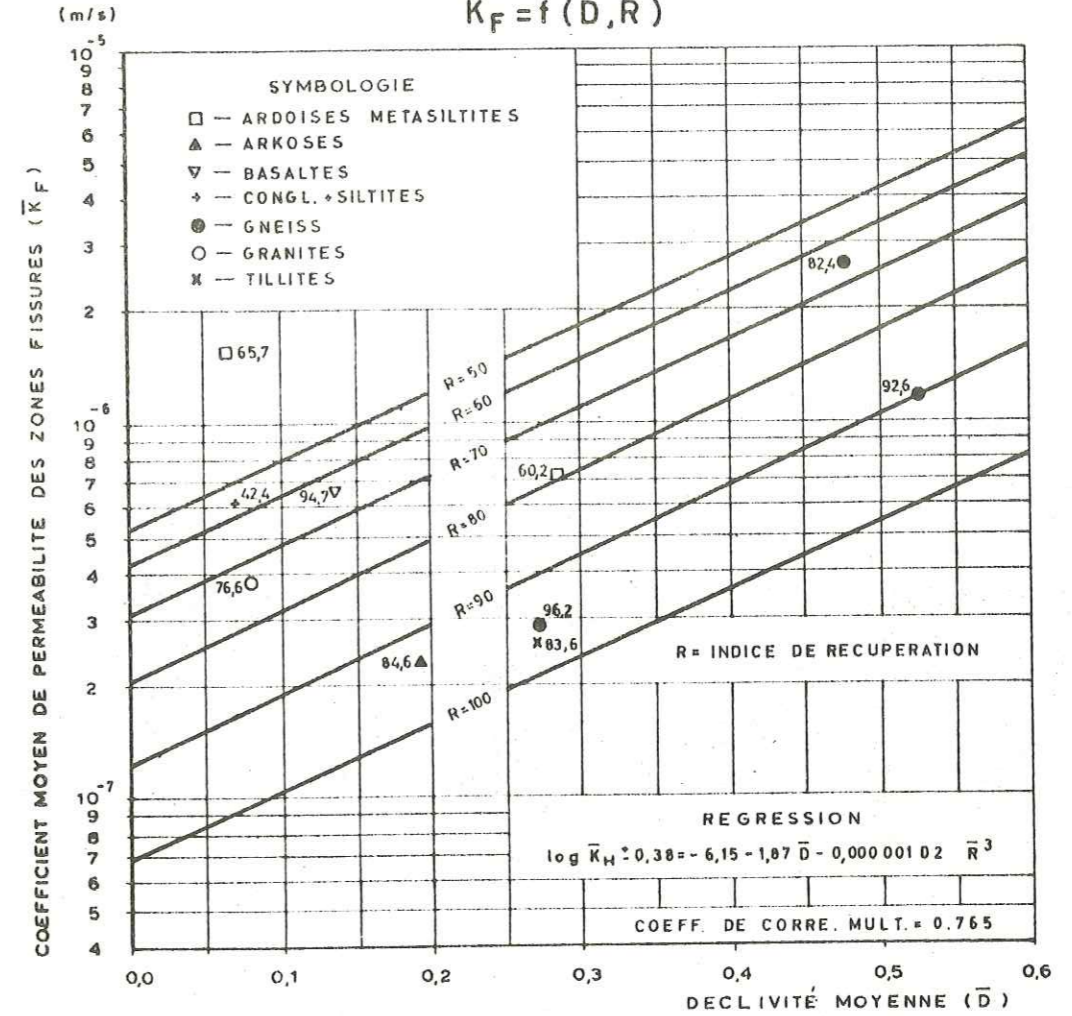
- \bar{e} - espacement moyen (en m)
- \bar{n} - porosité moyenne (adimensionnelle)
- \bar{o} - ouverture moyenne (en μ)

- A = 0,695
- A' = 0,000 176
- A'' = 113,0
- B = 12,3
- B' = 0,0000131
- B'' = 487,0

Il faut ajouter que les régressions $\bar{n}, \bar{o} = f(\bar{D})$ constituent des reflexes des régressions $\bar{K}_f = f(\bar{R}, \bar{D})$ et $\bar{e} = f(\bar{D})$, exprimant des effets identiques sous d'autres aspects. De plus, la réalisation des essais Lu-geon en tronçons de 3 m de longueur a rendu difficile l'estimation des espacements inférieurs à 1 m, ne permettant pas la considération de 8 en

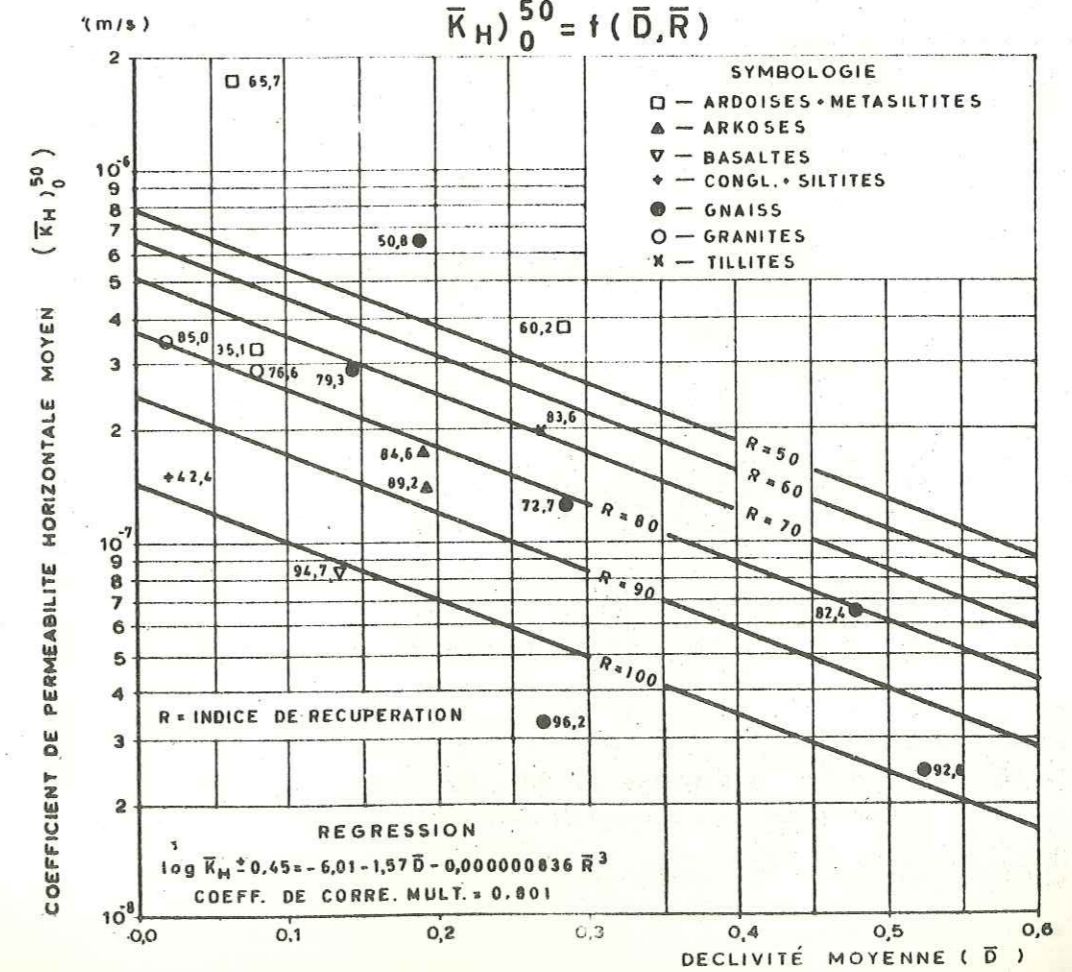
REGRESSION

$$\bar{K}_f = f(\bar{D}, \bar{R})$$



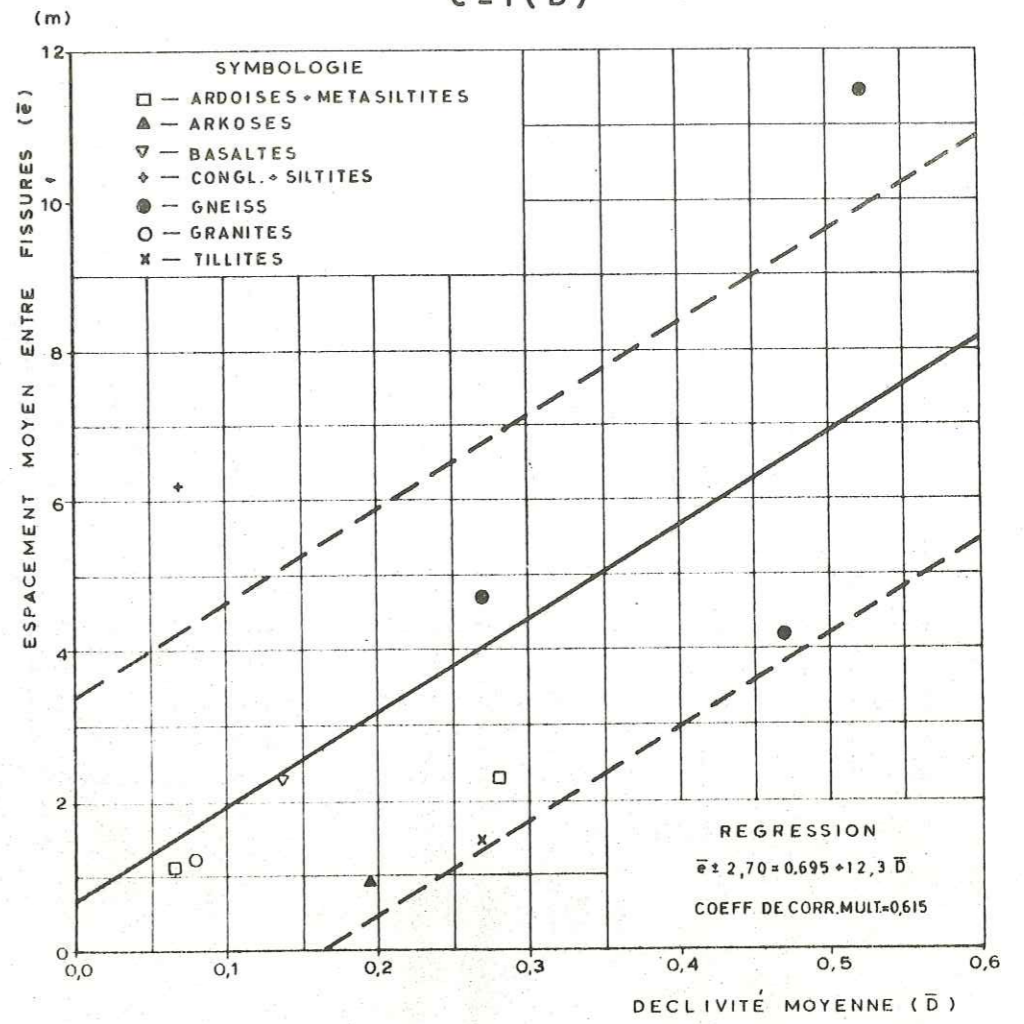
REGRESSION

$$\bar{K}_H^{50} = f(\bar{D}, \bar{R})$$



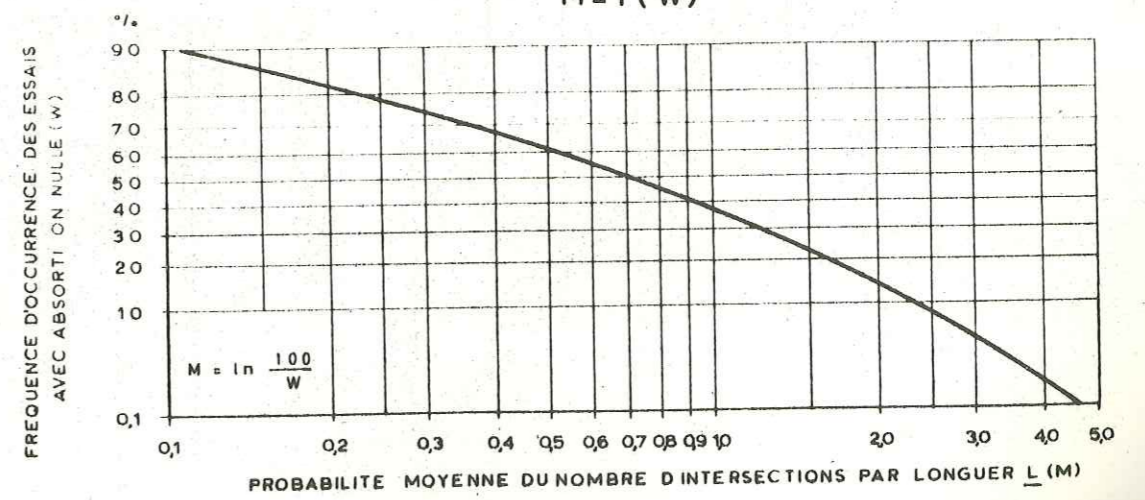
REGRESSION

$$\bar{e} = f(\bar{D})$$



RELATION

$$M = f(W)$$



NOTA: Apud SNOW (avec modification)

sembles des valeurs signalées pour $\bar{e} \ll 1$ m; en conséquence, la régression $\bar{e} = f(\bar{D})$ obtenue donne par excès l'estimation des valeurs de \bar{D} proches de l'origine.

ii) Leurs coefficients de corrélation, bien que réduits, sont statistiquement significatifs au seuil de 10%. Les écarts accentués des données correspondant aux fondations avec contrastes lithologiques appréciables (Adustina: intercalations conglomérat+grès; Nord: tillites différenciés par des matrices gréseuses et pelitiques) on réduit le coefficient de corrélation. Certes, des fondations homogènes permettraient de meilleurs ajustements.

iii) Les régressions $\bar{e}, \bar{o} = f(\bar{D})$ confirmèrent les tendances suggérées par $\bar{K}_f, \bar{K}_H^o = f(\bar{R}, \bar{D})$.

: Considérations finales

Parmi les divers résultats et conclusions résumés dans la présente section, l'existence d'un rapport défini entre les différents stades d'évolution géomorphologique du relief et le caractère de la fissuration constitue la constatation importante, pour mettre en évidence l'origine probable d'une grande partie des diaclases des milieux rocheux.

En effet, les tendances vérifiées, réunies dans le dessin 31, suggèrent l'occurrence graduelle des diaclases (dans une succession définie par des ouvertures et espacements décroissants) comme étant le résultat des phénomènes progressifs de rupture fragile dûs à l'évolution temporelle et spatiale des gradients de relaxation de contraintes et déformations associés aux processus de dénudation (sans exclure d'autres genres d'origine pour une part mineure de la fissuration).

Alors que les régressions $\bar{K}_H^o, \bar{K}_f = f(\bar{R}, \bar{D})$ et $\bar{e}, \bar{n}, \bar{o} = f(\bar{D})$ expriment le progrès de la fragmentation en termes temporels, les différents

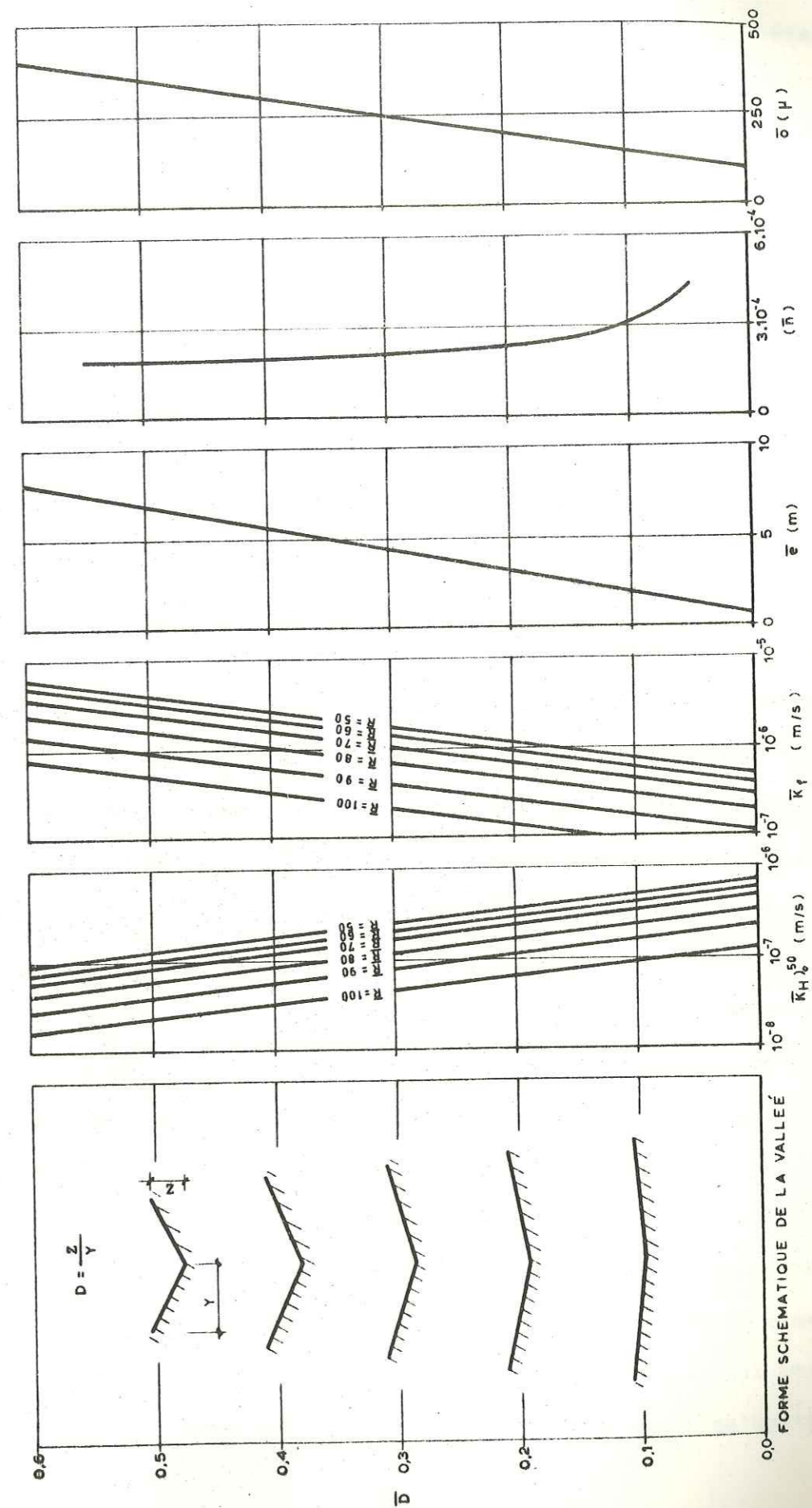
rappports $K = f(P, R)$ pour chaque aménagement le traduisent en termes spatiaux, une fois qu'ils reflètent probablement les distributions des gradients de contraintes et de déformations à chaque stade d'évolution de la vallée. La considération simultanée des facteurs temps-espace-lithologie (qu'on a essayée de définir par les paramètres \bar{D} , P, R dans le travail actuel) permettra une compréhension satisfaisante (quantitative et qualitative) du phénomène.

Les théories concernant l'origine des diaclases soutenues par PRICE (réf. bib. 14) appuient les conclusions précédentes.

Quand la dégradation du relief diminue d'importance, aux derniers stades du processus, la fragmentation progressive du milieu rocheux peut se poursuivre dans le temps pour atteindre l'échelle minéralogique (micro fissures) en favorisant l'action vigoureuse des phénomènes modificateurs de sa constitution intime avec un accroissement continu des surfaces en contact avec le milieu aqueux. En outre, l'altération le long des diaclases existantes, donnant naissance à un matériel extrêmement déformable par rapport à la roche-mère, stimule sensiblement la détente due aux gradients de contrainte et de déformation, avec une recrudescence de la fragmentation jusqu'à l'altération totale du milieu.

Il faut signaler que le déphasage existant entre les actions physiques et chimiques établit un certain retard concernant le colmatage graduel des diaclases (à mesure qu'elles se développent) avec des résidus expansifs peu perméables (minéraux argileux, en particulier montmorillonites) en conditionnant une réduction continue de sa perméabilité (ce qui explique la diminution de \bar{K}_f avec \bar{D}). Par conséquent, l'importance hydraulique des diaclases primitives s'efface avec la dégradation du relief. Par contre, leur importance mécanique (au point de vue stabilité et déformation) s'accroît nettement. Un effet identique apparaît pour les fractures d'origine

EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE DES VALLEES VIS-À-VIS DE LA FISSURATION ET DE LA PERMEABILITÉ



nettement tectonique (sensiblement antérieures au diaclasage par détente de l'énergie élastique potentielle) qui sont, d'habitude, signalées par un stade d'altération très prononcé. Toutefois, si la perméabilité des diaclases primitives diminue avec le temps, la fréquence des diaclases plus récentes augmente fortement, au point d'accroître la perméabilité totale du milieu (augmentation de K_H^50 avec la diminution de \bar{D}).

La compréhension du processus de fragmentation comme conséquence de la libération des sollicitations imposées et recueillies par les milieux rocheux pendant sa genèse, résulte immédiatement avec l'aide du modèle visco-élastique proposé par EMERY (réf. bib. 15). En effet, en admettant l'état rocheux après sa genèse (en profondeur) simulé par un ensemble de ressorts spiraux contractés et contenus dans un récipient indéformable plein de résine hautement visqueuse (par exemple de l'araldite), l'effet de la détente (provoquée par l'érosion ou par l'altération des diaclases antécédentes), simulé par l'arrachement des parois du récipient (après la prise de l'araldite), permet la libération de l'énergie élastique potentielle des ressorts contractés, suivie de la fragmentation progressive de la résine enveloppante, incapable de s'adapter convenablement aux gradients de contrainte et de déformation établis.

Finalement, il faut aussi faire ressortir l'influence réduite des facteurs lithologiques (partiellement traduits par \bar{R}) en présence de l'intégration des effets des actions géomorphologiques (refletées par \bar{D}), dans le contrôle de la fragmentation des massifs étudiés.

Des conclusions pratiques importantes peuvent être tirées des résultats présentés. Elles concernent l'intérêt, l'efficacité et l'économie des traitements des fondations de barrages au moyen d'injections de ciment. Néanmoins, il faut toujours retenir que les règles pratiques qui peuvent découler de ces conclusions excluent les alluvions et n'ont qu'un caractè

re général, ce qui veut dire que des circonstances particulières peuvent les invalider.

Toutes les régressions $K = f(P, R)$ ont indiqué une réduction de la valeur de K (d'autant plus remarquable que la vallée était plus jeune) avec l'accroissement de la profondeur P . Cette constatation quantitative (d'ailleurs aussi intuitive) fait ressortir l'importance de la zone superficielle de la fondation concernant son comportement hydraulique. Les valeurs relativement élevées de K dans la zone superficielle y favorisent la concentration du flux. En effet, l'observation des valeurs de K_H^50 (en particulier pour les vallées jeunes) les situent dans le même ordre de grandeur que les valeurs ponctuelles de K pour des profondeurs normalement inférieures à 10 m. Ce fait n'a rien d'étonnant si l'on tient compte que K_H^50 exprime, à côté de sa signification physique (signification d'un coefficient fictif mais dont l'effet est équivalent à celui des conditions réelles), une moyenne statistique dont les fréquences (les valeurs ponctuelles de K) diminuent avec la profondeur.

En conséquence, pour réduire les effets indésirables d'un flux sous-superficiel important sous un ouvrage (fuites excessives, érosions internes, souspressions élevées, etc ...) on doit employer le maximum de rigueur dans le traitement superficiel d'une fondation par injection (ou par d'autres procédés). On peut supposer qu'un traitement superficiel bien posé est plus efficace qu'un traitement profond moins rigoureux.

On pourrait par contre imaginer que la compression de la fondation due au poids du barrage, avec une diminution corrélative des valeurs originelles de K , allègerait l'importance de la zone superficielle. Toutefois, les fissures subverticales, les plus dangereuses pour l'établissement des souspressions élevées à la base de l'ouvrage et les phénomènes d'érosion interne (piping), varient peu avec une compression primordiale-

ment normale à la fondation. Le problème reste donc encore délicat.

Le problème devient plus délicat encore si on considère que les injections sont de moins en moins efficaces à mesure qu'on remonte vers la zone superficielle. En fait, les couches à faible profondeur ne peuvent pas supporter, sans risques des décrochements, des pressions élevées capables d'assurer un rayon d'action satisfaisant. Pour éviter l'insuccès du traitement, on doit serrer les forages et faire appel à des méthodes d'injection plus sophistiquées. Éventuellement le prix de revient dépasse les maxima tolérables et d'autres techniques (tranchées d'interception, voiles étanches à boue ou béton, tapis impreméables ou filtrants, etc...) sont mieux adaptables (même du point de vue technique) pour contrôler les effets gênants du flux soussuperficiel.

Un autre aspect à examiner se rapporte aux implications suscitées par l'évolution des propriétés hydrauliques des fondations vis à vis de l'évolution géomorphologique des vallées.

Les graphiques du dessin 31 montrent qu'avec le vieillissement des vallées, l'ouverture σ et l'espacement $\bar{\epsilon}$ décroissent progressivement tandis que la porosité π s'accroît. Tenant compte de l'importance des paramètres σ , $\bar{\epsilon}$ et π concernant la réussite ou l'insuccès du traitement, on peut supposer que plus le relief est dégradé, moins les injections seront efficaces et plus elles seront onéreuses.

En effet, des diminutions des valeurs de σ et $\bar{\epsilon}$ rendent les injections non seulement plus lentes et de faible rendement mais surtout entraînent des diminutions de leur rayon d'action (ce qui implique nécessairement une augmentation de la densité des forages pour assurer l'étanchéité désirée) et obligent à employer des coulis mieux élaborés. En plus, l'accroissement simultané de π provoque une majoration de la consommation spécifique (par m^3) du coulis. En conséquence, le prix du traitement de-

vient de plus en plus élevé pour atteindre une étanchéité acceptable.

L'emploi des techniques conventionnelles d'injection dans les vallées an-
ciennes, sans les adapter judicieuse aux circonstances spéciales qui les
caractérisent, semble conduire à un gaspillage inutile.

Les observations précédentes suscitent la grave question de décider
quand le traitement d'une vallée par injections est-il justifiable.

Du point de vue de l'utilité d'un voile étanche sous un barrage,
l'examen des résultats contenus dans les abaques du dessin 34 (section
5.4), établies pour l'estimation du comportement hydraulique des fonda-
tions rocheuses typiques (débits, souspressions et gradients de sortie)
indique que l'effet protecteur d'un voile étanche s'efface rapidement avec
la réduction du rapport $s/2b$ (s étant la profondeur de l'interception et
 $2b$ la longueur de la base imperméable de l'ouvrage). En conséquence, l'in-
térêt d'un voile est d'autant plus petit que la base du barrage est plus
large.

En raison des observations antérieures l'existence d'une interdepen-
dence relative entre le genre d'ouvrage et le caractère morphologique des
vallées permet de proposer deux considérations limites.

Les vallées jeunes, qui conviennent le mieux aux barrages à base min-
ce (aussi en ce qui regarde les propriétés mécaniques des fondations et
la présence des matériaux de construction) non seulement peuvent subir des
traitements par injections à la fois économiques et efficaces (les fonda-
tions en calcaire mises à part) mais aussi utiles aux ouvrages. Par con-
tre, les vallées anciennes, mieux adaptées aux barrages à base large (ici
encore, du point de vue capacité portante des fondations et existence des
matériaux de construction) ne peuvent subir des traitements économiques
et efficaces, lesquels sont d'ailleurs très peu utiles aux l'ouvrages.

Dans les cas intermédiaires, le choix dépend des conditions particu-
lières du système ouvrage-fondation.

DEUXIÈME PARTIE : PRÉSENTATION DE LA METHODE ELECTROANALOGIQUE

"SIMPLIFIÉE"

5 - NORMES ET TECHNIQUES D'EXECUTION DES MODELES ELECTROANALOGIQUES "SIMPLIFIÉS"

5.1 - Observations préliminaires

Conformément aux observations du chapitre d'introduction, le second genre des difficultés concernant la prévision du comportement des systèmes en régime stationnaire apparaît au moment de l'intégration des relations différentielles qui régissent le phénomène.

La comparaison des mérites et défauts des diverses méthodes de solution (mathématiques ou analogiques, continues ou discrètes) favorise les analogies discrètes parce qu'elles constituent, outre leur simplicité d'application par rapport aux méthodes mathématiques, des techniques adaptables au traitement des situations indiscriminées sans restreindre la dimension cartésienne de l'analyse et sans imposer des simplifications (en termes relatifs) quant à l'hétérogénéité et l'anisotropie des composants du système.

Parmi les diverses modalités d'analogies discrètes, la simulation électrodynamique constitue un recours précieux pour résoudre expérimentalement des problèmes analogues au flux du courant électrique à travers des milieux électrorésistants ou d'autres phénomènes (écoulement de fluides à travers des milieux perméables, propagation de la chaleur, diffusion de solutions, etc ...) régis par des lois physiques et mathématiques semblables.

Toutefois, la complexité de la réalisation des modèles conventionnels (dont les normes d'exécution sont bien résumées par SCOTT, réf. bib. 16) ne stimule pas leur utilisation fréquente hors des limites académiques ou des institutions de recherches.

En ayant pour but de vulgariser la simulation électrodynamique dis-

crète, l'auteur a développé une technique de réalisation des circuits discrets moyennant l'emploi des procédés simples, rendant possible la résolution rapide et économique des problèmes les plus variés d'écoulement à travers des milieux poreux ou fissurés.

Outre son avantage principal (traitement des situations complexes), la méthode proposée réunit les mérites additionnels suivants:

- . Correspondance physique entre simulatant et simulé
 - . Identification naturelle entre opérateur et analogie
 - . Facilité de planification, exécution et opération
 - . Versatilité opérationnelle, permettant des ajustements et modifications des paramètres et valeurs intervenant dans les systèmes avec l'appréciation immédiate de leurs conséquences.
 - . Réalisation des modèles simultanément à plusieurs échelles, permettant de détailler le comportement des zones critiques dans un essai unique.
- L'imprécision des analogies électrodynamiques discrètes, inhérente à la qualité de leurs éléments de base (résistances, capacités et inductances), constitue leur principal désavantage.

Par rapport aux estimations de potentiel, pour des circuits exempts de capacités et d'inductances (selon les vérifications expérimentales de UGINCHUS, réf. bib. 17), des écarts relatifs inférieurs à 10% pour la valeur nominale des résistances introduisent des erreurs de l'ordre de $\pm 1\%$ pour les mesures de potentiel. En effet, les degrés de corrélation élevés (en moyenne $0,9971 \pm 0,0030$) vérifiés dans l'étude expérimentale de la section 3.3 confirment les observations d'UGINCHUS.

Par contre, les estimations des densités de courant ont une précision identique à celle des composants dynamiques du modèle.

En considérant les régimes non linéaires, des vérifications analytiques effectuées par LOUIS (réf. bib. 5) ont permis provisoirement de conclure que l'application des rapports linéaires:

clure que l'application des rapports linéaires:

$$V_i = k_{ij} J_j$$

aux régimes turbulents, résulte en estimations de potentiels (moins les débits) bien proches des valeurs correctes (moins de $\pm 5\%$) provenant de l'utilisation de l'expression adéquate:

$$V_i = t_{ij} J_j^{0,5} = (t_{ij}/J_j^{0,5}) J_j = t'_{ij} J_j$$

à l'aide d'ajustements itératifs du terme:

$$t'_{ij} = t_{ij}/J_j^{0,5}$$

En plus, il faut aussi signaler la possibilité d'utilisation des méthodes électroanalogues pour l'étude des régimes transitoires selon l'artifice présenté par ARAVIN et NUMEROV (qui résument remarquablement les principes théoriques et pratiques des différents genres de simulation électrodynamique actuellement existant, réf. bib. 18, chap. 12) ou à l'aide des capacités associées en parallèle au circuit selon la technique recommandée par SCOTT (réf. bib. 16).

5.2 - Fondements de la méthode proposée

L'analyse du comportement des systèmes en régime stationnaire linéaire moyennant l'emploi des simulations électrodynamiques discrètes obéit à la voie suivante:

- . Détermination du caractère des éléments unitaires correspondant aux divers composants du système discretisé.
- . Réalisation matérielle du modèle.
- . Exécution des essais.
- . Interprétation des résultats.

Bien qu'à chaque phase correspondent des difficultés spécifiques, seule l'étape de la réalisation matérielle du modèle selon l'usage conventionnel renferme des obstacles effectivement pondérables.

Par conséquent, en considérant la valorisation des méthodes électrodynamiques comme essentiellement dépendantes de la simplification de son exécution, l'auteur a adapté des techniques d'impression de circuits compacts pour remplacer les modèles traditionnels ayant pour objet de faciliter la réalisation de l'analogie.

En essence, la simulation électrodynamique "simplifiée" diverge des analogies conventionnelles parce qu'elle utilise des circuits "imprimés" sur papier de dessin à l'aide d'une encre électrorésistante.

Le texte suivant réunit des normes et techniques d'analyse propres à la méthode proposée, en examinant:

. Des modèles 'continus' (considération de l'effet résultant de l'ensemble des fissures) bidimensionnels et tridimensionnels.

. Des modèles 'discontinus' (considération du comportement individuel de chaque fissure) bidimensionnels et tridimensionnels.

L'examen du rapport:

$$\frac{\bar{e}}{\bar{L}} \geq 0,1$$

où:

\bar{e} - espacement moyen des fissures (en m)

\bar{L} - dimension linéaire moyenne du milieu en cause (en m)

conditionne le choix convenable du type de modèle (continu ou discontinu) à réaliser.

La fixation de la dimension cartésienne de l'analyse (bidimensionnelle ou tridimensionnelle) dépend de la symétrie du système en cause. Certaines situations autorisent une approximation bidimensionnelle satisfaisante.

Finalement, il faut remarquer qu'on peut adapter intégralement les normes applicables aux systèmes continus aux milieux poreux.

5.2.1 - Détermination du caractère des éléments unitaires

: Modèles 'continus' ($\frac{\bar{e}}{\bar{L}} < 0,1$)

i) Identification des sous-régions définies par des conductivités K différentes (milieux hétérogènes) aussi bien que leurs valeurs et directions principales.

ii) Sélection de l'échelle 1:e du modèle, compatible avec son objectif (plus réduite est la valeur e , d'autant plus élevés sont la précision des résultats et l'effort exigé pour l'impression du circuit).

Quand nécessaire, on peut détailler certaines zones du système à l'aide d'un modèle à plusieurs échelles selon les indications contenues à la section 5.3.2.

iii) Détermination du caractère des éléments unitaires correspondants à chaque sous-région, en obéissant aux étapes suivantes:

. Fixation des modules superficiels A_m avec les expressions:

$$A_1 r_1 \bar{K}_1 = A_2 r_2 \bar{K}_2 = A_3 r_3 \bar{K}_3 = C_M$$

où:

A_m - module superficiel de l'élément unitaire selon la direction m (en m^2)

r_m - résistivité linéaire de l'élément unitaire (correspondant à la résistance par unité de longueur du trait dessiné à l'encre électrorésistante) selon la direction principale m (en ohm/m; déterminable expérimentalement selon les instructions à la section 5.3.2)

\bar{K}_m - valeur principale de K selon la direction m (en m/s)

C_M - constante de conversion invariable (pour chaque échelle 1:e)
pour la totalité des éléments unitaires du système, sélectionnée arbitrairement sous condition de maintenir le rapport

$$A_m/L \ll 0,1 \text{ (en } m^2 \text{ ohm/s)}$$

La constante C_M exprime le rapport parmi la conductivité hydraulique du prototype K et la conductivité électrique du modèle σ égale à l'inverse de la résistivité électrique définie par le produit Ar.

Observation: Toutes les unités se rapportant au modèle, soient elles des longueurs, des surfaces ou des volumes, sont toujours rapportées à l'échelle 1:e adoptée.

. Détermination des longueurs B_m (dans l'échelle 1:e) des 3 segments que définissent les éléments unitaires (dans leur configuration la plus simple) avec les expressions (Fig. 5.3.1:1):

$$B_1 = (A_1^{-1} A_2 A_3)^{0,5}$$

$$B_2 = (A_2^{-1} A_3 A_1)^{0,5}$$

$$B_3 = (A_3^{-1} A_1 A_2)^{0,5}$$

Fig. 5.3.1:1

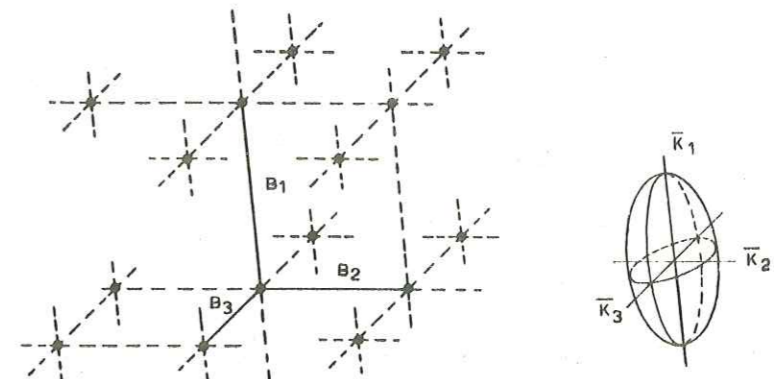


Fig. 5.3.1:1

La considération des rapports:

$$r_1 B_2 B_3 / n_1 = r_1' B_2' B_3' / n_1' = r_1'' B_2'' B_3'' / n_1'' = \dots$$

$$r_2 B_3 B_1 / n_2 = r_2' B_3' B_1' / n_2' = r_2'' B_3'' B_1'' / n_2'' = \dots$$

$$r_3 B_1 B_2 / n_3 = r_3' B_1' B_2' / n_3' = r_3'' B_1'' B_2'' / n_3'' = \dots$$

n_m, n_m', n_m'', \dots étant la densité des segments B_m (quantité de segments par module unitaire A_m normal à la direction m), permet d'adapter de nouvelles valeurs $r_m', r_m'', \dots, B_m', B_m'', \dots$ sans compromettre l'analogie, en introduisant des altérations dans la conformation de base des éléments unitaires (par exemple, intérêt éventuel d'augmenter la précision du modèle dans des zones singulières moyennant la réduction des longueurs B_m ou d'adaptations convenables aux contours du prototype).

iv) Des systèmes bidimensionnels assimilables à des sections planes avec des épaisseurs unitaires ($B_2 = 1$) admettent:

$$A_1 r_1 K_1 = A_3 r_3 K_3 = C_M$$

$$B_1 = A_3$$

$$B_3 = A_1$$

$$r_1 B_3 / n_1 = r_1' B_3' / n_1' = r_1'' B_3'' / n_1'' = \dots$$

$$r_3 B_1 / n_1 = r_3' B_1' / n_1' = r_3'' B_1'' / n_1'' = \dots$$

: Modèles 'discontinus' ($\frac{\bar{\sigma}}{L} > 0,1$)

i) Identification des fissures définies par des conductivités k différenciées (fissuration hétérogène) aussi bien que leurs valeurs et directions principales.

ii) Sélection de l'échelle 1:e du modèle.

iii) Détermination du caractère des éléments unitaires correspondants à chaque fissure, en obéissant aux étapes suivantes:

. Fixation des modules a_m avec les expressions:

$$a_1 r_1 k_1 = a_2 r_2 k_2 = C_M$$

où les symboles a_m , r_m , k_m (normalement il est convenable d'adopter $r_1 = r_2 = r$ en admettant une symétrie tétragonale avec $k_1 = k_2 = k$), augmentent des significations semblables aux paramètres A_m , r_m , K_m , C_M définis antérieurement.

. Déterminations des longueurs

b_m des 2 segments ($b_3 = 0$) qui définissent les éléments unitaires (Fig.

5.3.1:2) avec les expressions:

$$b_1 = a_2 / \bar{\sigma}$$

$$b_2 = a_1 / \bar{\sigma}$$

où $\bar{\sigma}$ symbolise l'ouverture moyenne de la fissure.

La considération des rapports:

$$r_1 b_2 / n_1 = r_1' b_2' / n_1' = r_1'' b_2'' / n_1'' = \dots$$

$$r_2 b_1 / n_2 = r_2' b_1' / n_2' = r_2'' b_1'' / n_2'' = \dots$$

permet de changer la conformation des éléments unitaires.

iv) Les systèmes bidimensionnels ($b_2 = 1$) admettent:

$$\bar{\sigma} r_1 k_1 = C_M$$

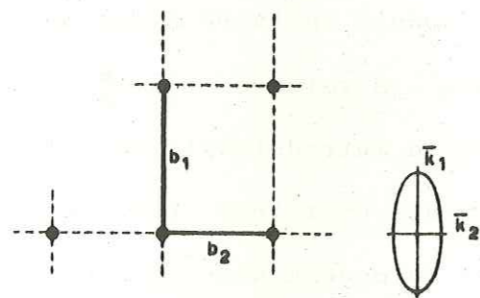


Fig. 5.3.1:2

5.2.2 - Réalisation des modèles

: Matériaux

L'exécution des modèles exige seulement les matériaux suivants:

papier de dessin

fils conducteurs

encre électrorésistante

Des papiers de dessin synthétiques (type TOPATEX MATT, fabriqué par OZALID COMPANY LIMITED, Angleterre) sont recommandés à cause de leur haute résistance à la traction (ce qui empêche l'inutilisation accidentelle du modèle). Le papier calque de bonne qualité peut être aussi employé sans aucune restriction.

Des fils unifilaires fins (diamètre $\approx 0,1$ mm) avec isolement de vernis (fils pour le bobinage) sont recommandés.

L'encre électrorésistante idéalisée par l'auteur constitue une suspension de graphite en poudre dans un vernis cellulosique. Les exemples d'application concernant la méthode ont été réalisés avec une encre électrorésistante préparée avec du graphite très fin synthétisé par The British Drug House Ltd, Angleterre, et un vernis, désigné commercialement par 'liquide banane', distribué par Artex Comercial Tintas, Brésil.

Quand nécessaire, des séchages préalables ou des dilutions avec un solvant adéquat, permettent d'ajuster la viscosité du vernis aux besoins du travail. La proportion en poids vernis: graphite la plus commune varie de 3:1 à 4:1, ayant une masse spécifique et une viscosité absolue d'environ $0,94 \text{ g/cm}^3$ et 160 centipoises.

La lente et continuelle évaporation du vernis, provoquant une modification graduelle des caractéristiques de la suspension, constitue le principal désavantage de l'encre suggérée. Après sa préparation et homogénéi-

sation (éventuellement à l'aide d'un disperseur), il est convenable de distribuer des volumes égaux dans des récipients de polyester (15 à 20 cm³) bien fermés, pourvue d'une bille en acier à l'intérieur, destinés à faciliter la rehomogénéisation lors de l'usage. Utiliser seulement 1/4 du volume de chaque récipient dans l'élaboration de chaque modèle, profitant à nouveau du restant de l'encre dans la préparation de nouvelles simulations.

Des exemples de dispersion de la résistivité linéaire r de l'encre aussi bien que de sa variation par rapport au temps et à son épaisseur sont inclus dans le dessin 32.

Le tableau suivant réunit des valeurs de résistivité linéaire moyenne pour six droites de 20 cm de longueur et 1 mm d'épaisseur, 'imprimées' avec la même encre, et soumises à des fléchissements et des plis préalables dans l'ordre et la quantité indiqués.

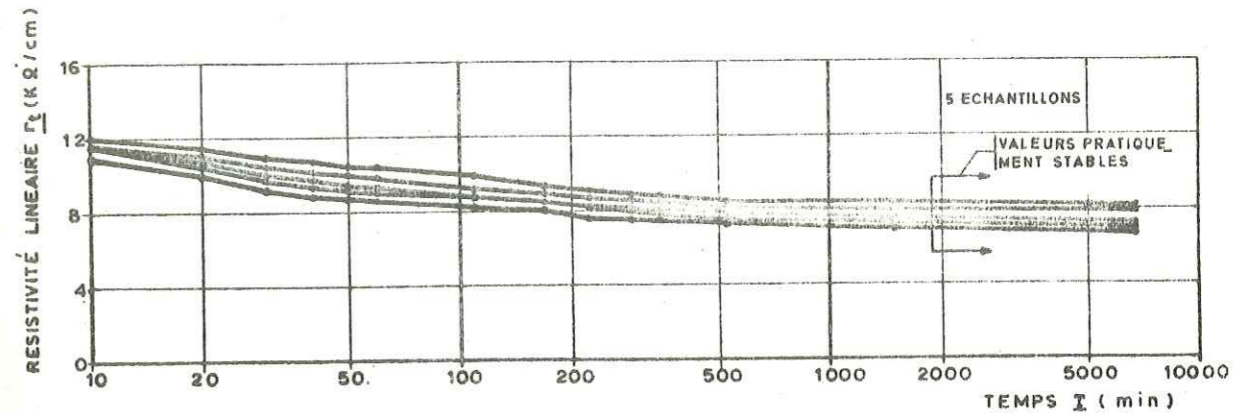
Traité	Résistivité linéaire (K ohm/cm)									
	Quant. des fléchis.					Quant. des plis				
	1	2	3	4	5	1	3	7	15	31
1	12,5	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	15,0	15,0	22,5	40,0
2	9,2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,8	11,5	12,5	17,0	∞
3	11,5	12,0	11,5	11,5	11,5	12,0	12,5	13,0	16,0	25,0
4	10,0	11,0	11,0	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	17,0	∞
5	12,0	12,5	13,0	13,0	13,0	13,0	14,0	14,8	22,5	∞
6	11,0	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	13,0	14,0	22,0	20,0

Ce n'est pas après 15 plis (après les fléchissements) que les résistivités varient de façon appréciable, témoignant de la haute résistance mécanique de l'encre.

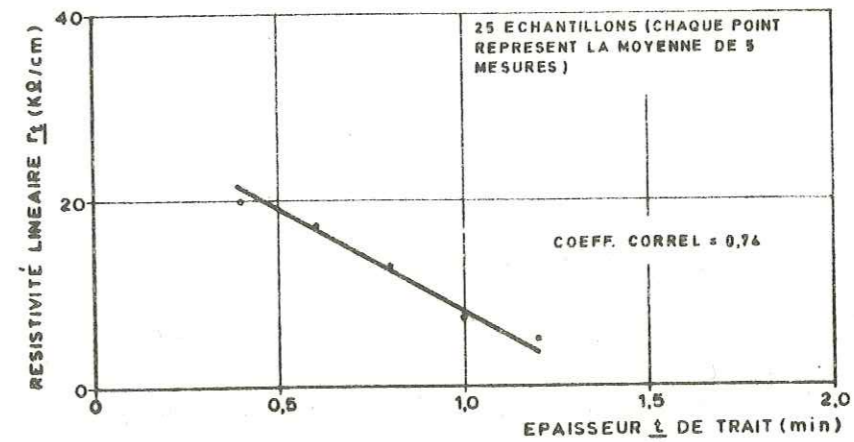
Il faut ajouter qu'on n'a pas remarqué d'instabilités ohmiques (au niveau de précision des instruments de mesure utilisés) pendant la réalisation

EXEMPLES DE CARACTERISTIQUES DE L'ENCRE ELECTRORESISTANTE

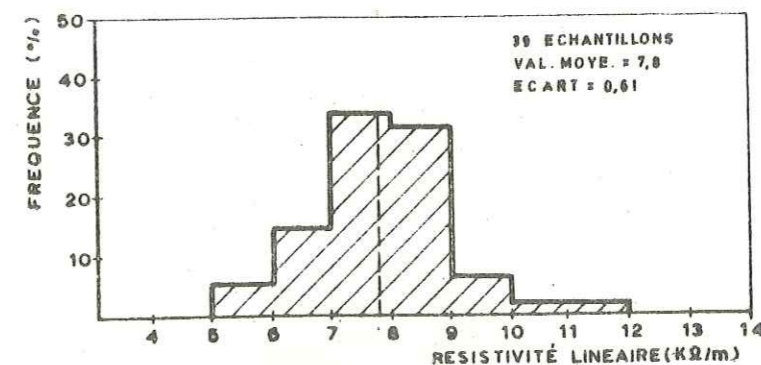
EXEMPLE DE VARIATION DE LA VALEUR DE LA RESISTIVITE LINEAIRE r_L APRES L'EXECUTION DES TRAITES AVEC L'ENCRE ELECTRORESIST.



EXEMPLE DE VARIATION DE LA VALEUR DE LA RESISTIVITE LINEAIRE r_L AVEC L'EPaisseur e DU TRAIT



EXEMPLE DE LA DISPERSION DE LA VALEUR DE LA RESISTIVITE LINEAIRE r_L



tion des essais avec des temps de circulation ininterrompue de courants inférieures à 30 min.

Pour la réalisation de modèles moins précis, on peut utiliser des traits au crayon commun (HB à 3B, dépendant de la rugosité du papier) au lieu de l'encre proposée. On obtient des écarts relatifs de 22 à 29% pour la résistivité linéaire obtenue.

: Techniques d'"Impression"

L'"impression" du tracé électrorésistant obéit à la technique conventionnelle (avec plus d'attention) du dessin à l'encre de chine avec tire-lignes.

Observation: L'encre suggérée ronge le matériau qui compose les plumes type GRAPHOS ou OXFORD.

L'usage de l'acétone permet de nettoyer convenablement les instruments de travail et corriger éventuellement des erreurs du tracé.

Pendant l'"impression" du "circuit" électrorésistant, il faut obéir aux règles suivantes:

. Afin d'atténuer l'évaporation continue de l'encre (et conséquemment la variation graduelle de ses caractéristiques), il faut maintenir le récipient de polyester bien fermé hors d'usage.

. Avant de recharger le tire-lignes, retourner et homogénéiser la suspension à l'aide de la bille d'acier contenue dans le récipient.

. Du début à la fin du dessin, tracer systématiquement, en marge du circuit, des droites destinées à étalonner les valeurs préalablement estimées pour les moyennes et les écarts tolérables des résistivités linéaires r_m .

Quand nécessaire (pour des systèmes hétérogènes), lors de la phase de planification du modèle, des valeurs différentes de r correspondant à des ouvertures différentes t du tire-lignes (pour une même proportion vernis:graphite) sont établies expérimentalement de la façon suivante:

. Sur un papier à dessin identique à celui prévu pour l'"impression" du "circuit", tracer des droites de 10 cm de longueur pour les différentes ouvertures t du tire-lignes (en général, 5 droites pour chaque ouverture suffisent).

. Avec un ohmmètre, mesurer périodiquement (chaque 24 h) les résistances totales R_t de chaque droite (en ohm) jusqu'à atteindre des valeurs stables (normalement 3 à 6 jours).

. Pour chaque valeur stable R_t (l'indice désignant l'ouverture du tire-ligne) on calcule la résistivité linéaire r_t :

$$r_t = \frac{R_t}{L_t}$$

où:

r_t - résistivité linéaire correspondante à l'ouverture t (en ohm/m)

R_t - résistance stable de chaque droite (en m)

t - (en m)

L_t - longueur de chaque droite (en m, par rapport à l'échelle 1:e)

. Pour les différents r_t , calculer leurs moyennes et écarts (en utilisant des techniques des petits échantillonnages).

S'il est convenable, définir la régression linéaire:

$$r_t)_{t_1}^{t_2} = r_{t_1} + a t$$

avec les valeurs expérimentales.

: Planification des circuits "continus" bidimensionnels

i) Délimitation et définition du caractère des limites extérieures du modèle de préférence proportionnelles (à l'échelle 1:e) aux limites du prototype.

Quand des difficultés d'"impression" empêchent la préservation de la similitude géométrique de quelques zones (en conservant toutefois l'invariance de la constante C_M et des conditions limites), il faudra indiquer les coordonnées effectives des points non proportionnels.

Le caractère des limites extérieures (lignes ou surfaces, dépendant de la dimension carthésienne de l'analyse) obéissent aux critères suivants:

. Les limites (ou équipotentiels en subcircuits confinés) d'immersion ou émergence situées sous les lames d'eau dans le prototype correspondent respectivement à des surfaces d'entrée et de sortie du flux électrique dans le modèle (Fig. 5.3.2:1).

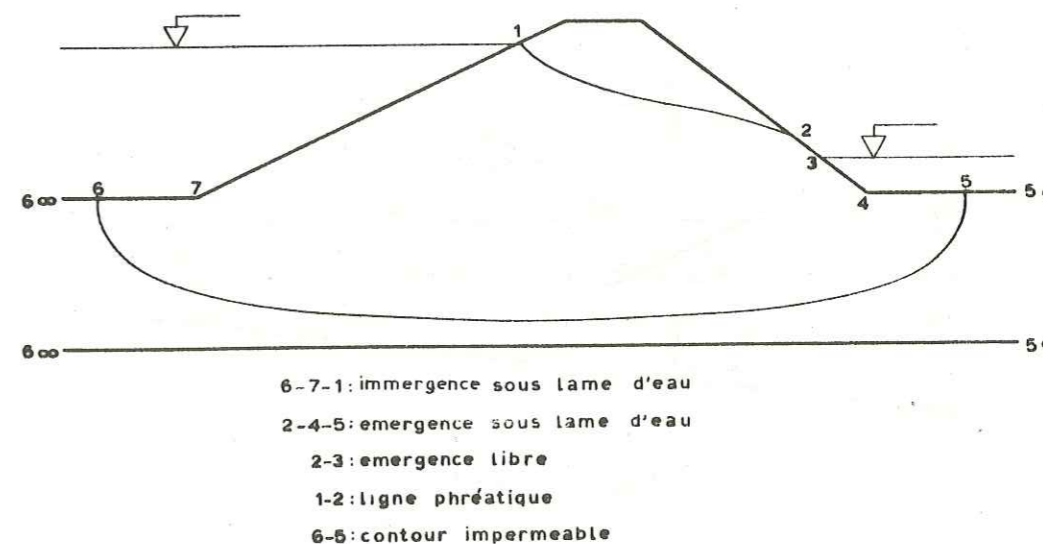


Fig. 5.3.2:1

Les limites imperméables dans le prototype (ou surfaces de flux en subcircuits confinés) correspondent dans les modèles à ses limites avec le papier à dessin (caractérisé par une résistance ohmique prati

quement infinie par rapport à l'encre électrorésistante).

. Les limites définies par les surfaces phréatiques dans le prototype correspondent dans le modèle à des limites (établies en principe théoriquement et corrigées postérieurement pendant l'essai) dans lesquelles le potentiel électrique varie (sans raccordement avec d'autres sources d'énergie) proportionnellement au potentiel hydraulique prévu (fonction scalaire linéaire de la cote z).

. Les limites définies par émergence libre dans le prototype correspondent dans le modèle à des limites dans lesquelles le potentiel électrique varie aussi (dans ce cas, à l'aide de raccordements à d'autres sources d'énergie) proportionnellement au potentiel hydraulique prévu (aussi, fonction scalaire linéaire de la cote z).

ii) Détermination (Fig. 5.3.2:2) des limites intérieures des subrégions définies par des conductivités K différenciées, avec l'indication de leurs directions principales les valeurs respectives de B_1 et B_3 des éléments unitaires correspondantes.

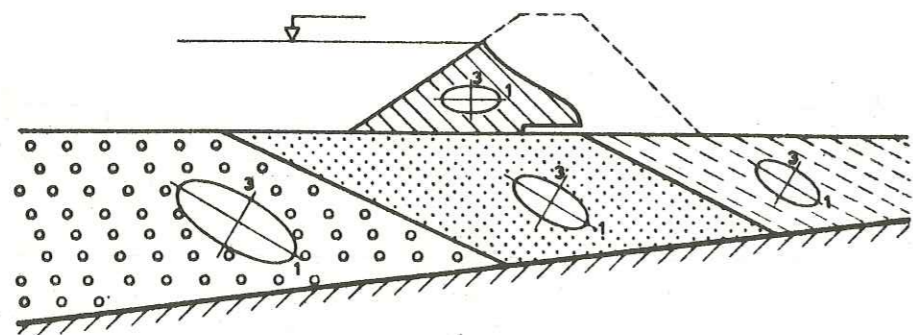


Fig. 5.3.2:2

iii) Planification des sous-circuits de chaque subrégion:

. Sélection de la proportion vernis-graphite et/ou ouverture t_m du tire-lignes déterminant de la résistivité linéaire r_m de chaque direction principale.

. Élaboration du réseau (Fig. 5.3.2:3) correspondant au sous-circuit, défini par 2 faisceaux orthogonaux de droites parallèles aux directions 1 et 3 avec des espacements B_3 et B_1 .

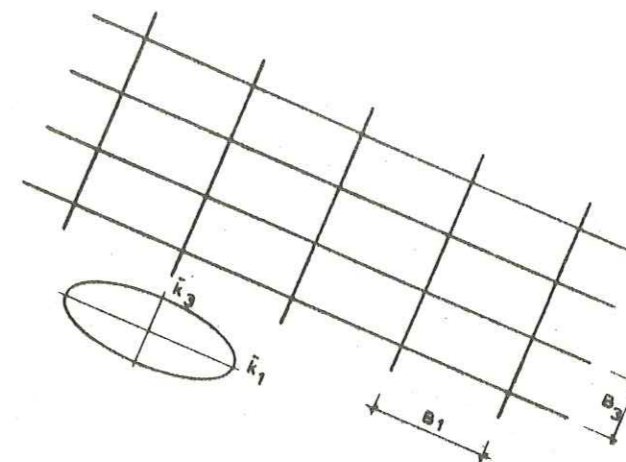


Fig. 5.3.2:3

. Ajustement du caractère des éléments unitaires du réseau (modifications des valeurs B_m , B'_m , B''_m , ... et/ou r_m , r'_m , r''_m , ...) dans les arêtes de contact avec les limites extérieures et/ou intérieures (correction dépendant du degré de précision voulu).

Éventuellement, des associations en série ou en parallèle (Fig. 5.3.2:4) permettent de changer les valeurs locales de r_m , sans exiger une modification de la proportion vernis-graphite.



Fig. 5.3.2:4

. Planification des raccordements aux sous-circuits adjacents (normalement moyennant la définition d'une frontière avec des noeuds communs aux réseaux adjacents) aussi bien qu'aux extrémités d'entrée et de sortie

du flux électrique (normalement moyennant l'union individuelle des noeuds aux bornes de la source d'énergie), en ayant soin de préserver l'invariance de C_M .

Observation: Rien n'empêche de scinder certains subcircuits du restant du modèle quand le raccordement est garanti par l'union individuelle des noeuds scindés avec des fils conducteurs. Occasionnellement, l'observation des rapports:

$$C_M/e = C'_M/e' = C''_M/e'' = \dots$$

où

C'_M, C''_M, C_m, \dots - constantes de conversion (en $m^2 \text{ ohm/s}$)

e, e', e'', \dots - modules des échelles $1/e', 1/e'', \dots$

permet de modifier les échelles des subcircuits détachés, en autorisant en conséquence l'étude de détail de leur comportement lors des essais (modèles à plusieurs échelles simultanées).

: Planification des circuits "continus" tridimensionnels

- i) Délimitation et définition du caractère des limites extérieures du modèle (comme pour les modèles bidimensionnels, "mutatis mutandis").
- ii) Détermination des limites intérieures des subrégions définies par des conductivités K différenciées, avec l'indication de leurs directions principales et les valeurs respectives de B_1, B_2 et B_3 des éléments unitaires correspondants.

iii) Planification des subcircuits de chaque subrégion:

. Sélection de la proportion vernis:graphite et/ou ouverture t_m du tire-lignes déterminant la resistivité linéaire r_m .

. Détermination des intersections des plans parallèles aux segments B_1 et B_2 , espacés de B_3 , avec les limites de la subrégion (sections planes contenant B_1 et B_2).

. Pour chaque section (Fig. 5.3.2:5), élaboration d'un réseau défini par 2 faisceaux orthogonaux de droites parallèles aux directions 1 et 2, avec espacements B_2 et B_1 , ayant à chaque noeud un segment de longueur égale à B_3 selon une direction arbitraire (rabattement de B_3 sur le plan 1-2).

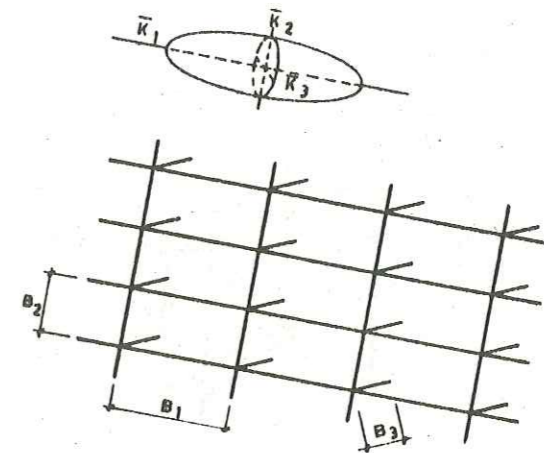


Fig. 5.3.2:5

. Ajustement du caractère des éléments unitaires du réseau aux limites (comme pour les modèles bidimensionnels, "mutatis mutandis").

. Planification des raccordements parmi les différentes sections de chaque subrégion (raccordements individuels des extrémités libres des segments B_3 et les noeuds du réseau adjacent).

. Planification des raccordements aux subcircuits adjacents et aux extrémités d'entrée de sortie du courant (comme pour les modèles bidimensionnels, "mutatis mutandis").

: Planification des circuits "discontinus" bidimensionnels

- i) Délimitation et définition du caractère des limites extérieures

(intersections avec la surface externe) des fissures (comme pour les modèles "continus", "mutatis mutandis").

ii) Détermination de la conductivité k_1 de chaque fissure avec l'indication de sa résistivité linéaire r_1 égale à $C_M/k_1 \bar{\sigma}$.

iii) Planification du circuit équivalent au système des fissures:

. Sélection de la proportion vernis:graphite et/ou ouverture t_1 du tire-lignes déterminant la résistivité linéaire r_1 de chaque fissure.

. Elaboration du réseau (Fig. 5.3.2:6) provenant de l'intersection de chaque fissure avec le plan d'analyse.

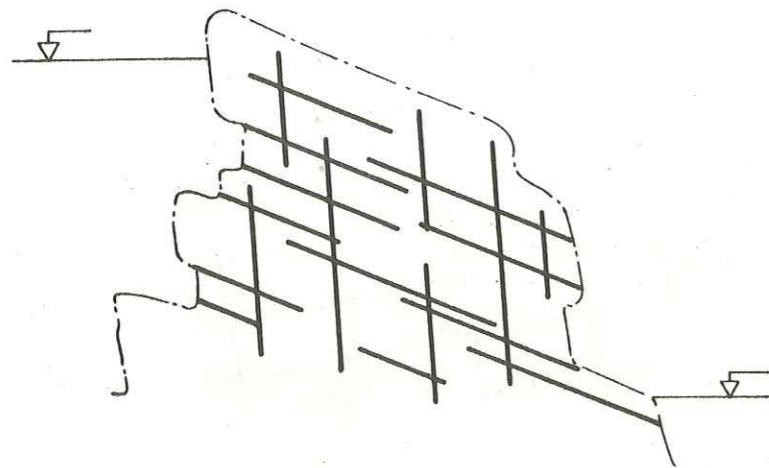


Fig. 5.3.2:6

. Planification des raccordements aux bornes d'entrée et de sortie du courant (comme par les modèles "continus", "mutatis mutandis").

. Planification des circuits "discontinus" tridimensionnels

i) Délimitation et définition du caractère des limites extérieures des fissures (comme pour les modèles bidimensionnels, "mutatis mutandis").

ii) Détermination de la conductivité k de chaque fissure avec l'indication de ses directions principales et les valeurs respectives de b_1 et b_2 des éléments unitaires correspondantes.

iii) Planification des sous-circuits de chaque fissure:

. Détermination de ses intersections avec les autres fissures et l'extérieur.

. Sélection de la proportion vernis:graphite et/ou ouverture t_m du tire-lignes déterminant les résistivités linéaires r_m .

. Elaboration d'un réseau défini par 2 faisceaux orthogonaux de droites parallèles aux directions 1 et 2 avec espacements b_2 et b_1 .

. Ajustement du caractère des éléments unitaires aux limites (comme pour les modèles "continus", "mutatis mutandis").

. Planification des raccordements (Fig. 5.3.2:7) avec les autres fissures (raccordements individuels des points coïncidents dans leurs intersections) aussi bien qu'aux extrémités d'entrée et de sortie du courant (comme pour les modèles "continus", "mutatis mutandis").

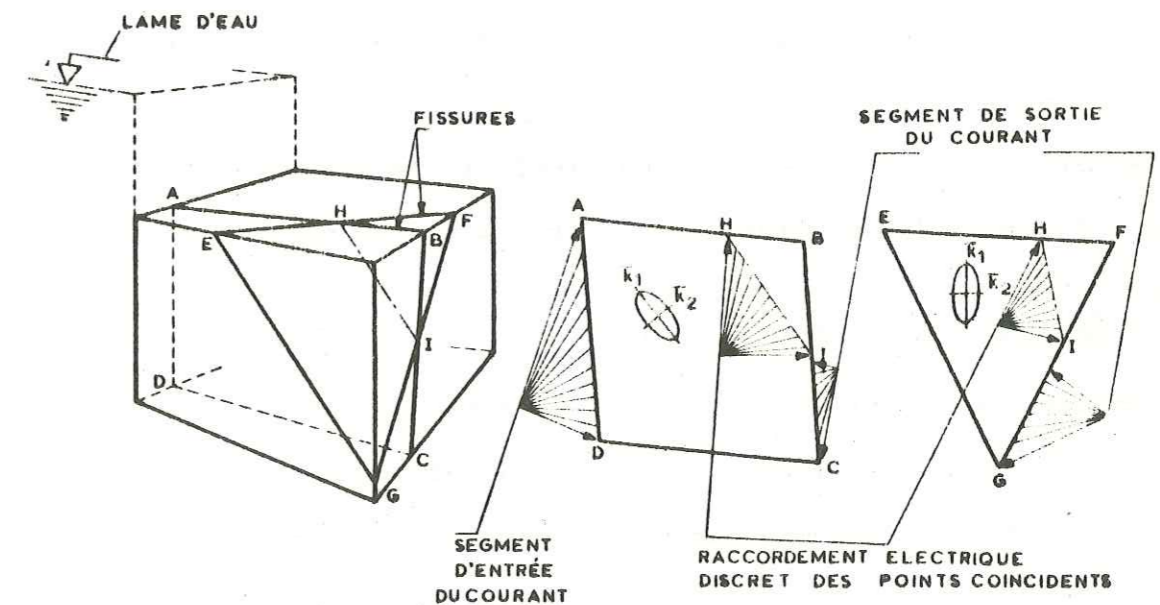


Fig. 5.3.2:7

5.2.3 - Exécution des essais

: Raccordements

Les raccordements (continus ou ponctuels) sont effectués avec des fils unifilaires fins et flexibles solidaires au papier à dessin grâce à des rubans adhésifs.

Pour assurer des contacts efficaces, il convient de "souder" les fils conducteurs utilisant la suspension vernis-graphite, de préférence avec une proportion 2:1.

Pour interrompre le circuit dans n'importe quel point, il suffit de sectionner le tracé avec une lame. Une "soudure", postérieure rétablit le contact interrompu.

: Instruments de mesure

Les mesures électriques (différences de potentiel et intensités de courant) sont effectuées avec un multimètre à plusieurs échelles de lecture.

À cause de la résistance normalement élevée des modèles (10 à 100 Kohm), l'emploi des multimètres électroniques est recommandable.

: Sources d'énergie

Des courants continus (1,5 à 6,0 V, avec des débits de 0,1 à 5,0 mA) sont obtenus avec des piles sèches en parallèle (pour garantir une réserve appréciable de l'énergie) ou avec une source à transistors bien filtrée et stable.

: Circuit des essais

Les barres d'entrée et sortie du flux électrique (Fig. 5.3.3:1) sont reliées aux bornes respectives de la source d'énergie. L'emploi de

résistances variables (proportionnelles à la résistance totale du modèle) permet d'ajuster la valeur de la d.d.p. (différence de potentiel) de l'essai aussi bien que le maintien correct des potentiels variables arrivant aux limites d'émergence libre. Éventuellement, les résistances variables sont obtenues avec des traits faits avec de l'encre électro résistante, en marge du modèle.

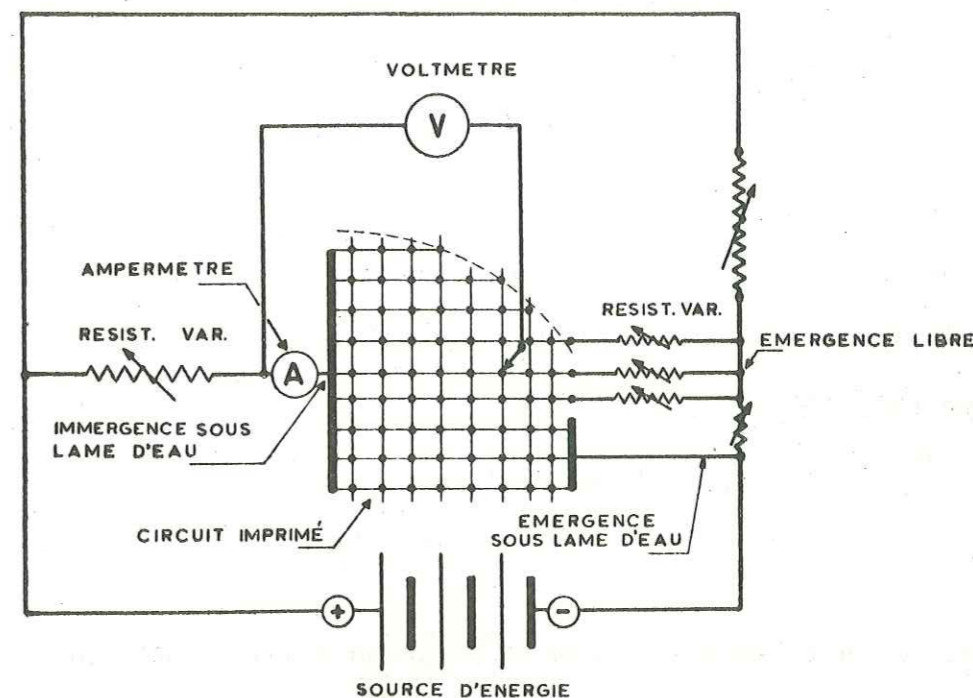


Fig. 5.3.3:1

Les d.d.p. sont mesurées avec le multimètre branché en parallèle tandis que les intensités de courant exigent le branchement en série.

Observation: Les essais sont réalisés seulement après stabilisation de la résistance du modèle.

5.3.4 - Interprétation des résultats

La conversion des mesures électriques aux analogues hydrauliques, provient des expressions suivantes:

$$H = C_E U$$

$$Q = C_M C_E I$$

où:

H - d.d.p. hydraulique (en m, par rapport à l'échelle 1:e)

U - d.d.p. électrique (en V, volts)

Q - débit (en m³/s)

I - intensité de courant (en A, ampère)

C_M - constante de conversion du modèle (en m² ohm/s)C_E - constante de conversion de l'essai (en m/V) définie par le rapport entre la d.d.p. hydraulique totale prévue (en m, à l'échelle 1:e) et la d.d.p. totale de l'essai (en V)

Des modèles avec plusieurs échelles exigent l'emploi d'une paire unique de constantes C_Mⁿ, C_Eⁿ par rapport à la même échelle 1:eⁿ (adoptée arbitrairement parmi les différentes échelles du modèle). La considération des rapports:

$$C_M/e = C'_M/e' = C''_M/e'' = \dots$$

$$C_M e = C'_E e' = C''_E e'' = \dots$$

permet de déterminer les constantes C_Mⁿ, C_Eⁿ des différents sous-circuits. La valeur de la charge H dépend de la valeur de eⁿ.

5.4.5- Exemples d'application

: Exemple bidimensionnel

Elaboration d'un abaque pour l'estimation du comportement hydraulique des fondations avec $K = e^{-0,0239P}$, pour des barrages en terre avec filtre aval horizontal.

Les variables considérées (avec l'indication de leur domaine) furent les suivantes (Fig. 5.4:1):

. Indépendantes:

2b - base imperméable (20 à 100 m)

s - profondeur interceptée (0 à 30 m)

. Dépendantes (normalisées):

$$\frac{Q}{H_T \bar{K}_H^{50}} - \text{débit (en m)}$$

$$\frac{h}{H_t} - \text{d.d.p. au tiers amont de la semibase aval}$$

$$\frac{J_v}{H_T} - \text{composante verticale du gradient hydraulique à l'origine du filtre (en m}^{-1}\text{)}$$

étant:

H_t - d.d.p. hydraulique totale

\bar{K}_H^{50} - coefficient de perméabilité horizontale moyen (en m/s, estimable pour chaque endroit à l'aide de la régression $\bar{K}_H^{50} = f(R,D)$ dont l'expression graphique fait partie du dessin 28).

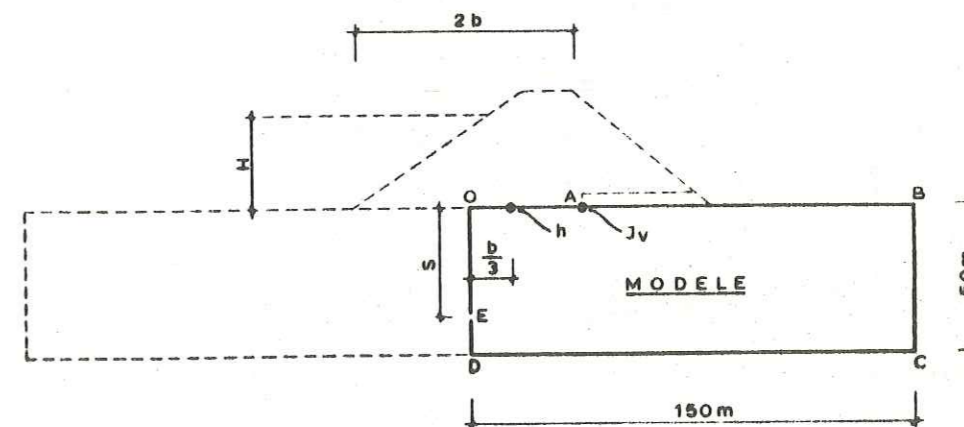


Fig. 5.4:1

Observation: L'anisotropie et la compressibilité de la fondation (avec une modification corrélative des valeurs originaux de K) furent négligées.

Les étapes d'idéalisation du modèle furent les suivantes:

A) Détermination du caractère des éléments unitaires

i) Considération de la régression $K = f(D, R)$

$$K = e^{-(13,6+0,00000287 R^3 + 0,0239 P)}$$

où:

K - coefficient de perméabilité ($K = K_1 = K_3$, en m/s)

e = 2,72, base des logarithmes népériens

R - indice de récupération (en %)

P - profondeur (en m)

ii) Sélection de l'échelle 1:200 (e = 200)

iii) En considérant un module superficiel variable A ($A = A_1 = A_3$):

$$A r K = C_M$$

sa normalisation par rapport à $(\bar{K}_H)_o^{50}$ est:

$$A r K / (\bar{K}_H)_o^{50} = C_M / (\bar{K}_H)_o^{50}$$

où:

$$(\bar{K}_H)_o^{50} = \frac{1}{50} \int_0^{50} K dP = 0,582 e^{-(13,6+0,00000287 R^3)}$$

donc:

$$1,716 A r e^{-0,0239P} = C_M / (\bar{K}_H)_o^{50}$$

qui peut se simplifier:

$$A = A_o e^{0,239P}$$

où A_o est une valeur arbitraire pour $P = 0$.

De plus:

$$B = B_1 = B_3 = A$$

d'où:

$$B = B_o e^{0,0239P}$$

En considérant $B_o = 0,8$ m (4 mm dans l'échelle 1:200) on a:

$$\ln B = \ln 0,8 + 0,0239P$$

B) Planification du circuit

i) La symétrie du système a permis sa simplification (Fig. 5.4:1) à condition d'admettre:

$$H = C_E 2 U$$

où les symboles conservent la signification antérieure.

ii) La variation continue de B a subi la discrétisation suivante (le dessin 33 reproduit le réseau originel):

Profondeur	B (mm)
0,0 à 5,5	4
5,5 à 13,5	5
13,5 à 20,5	6
20,5 à 26,5	7
26,5 à 31,5	8
31,5 à 36,5	9
36,5 à 40,5	10
40,5 à 44,5	11
44,5 à 50,5	12

C) Interprétation des résultats

i) La proportion vernis:graphite utilisée a permis une résistivité linéaire r (pour une ouverture du tire-lignes égale à 1 mm) voisine de $7,8 \pm 0,61$ ohm/m (à l'échelle 1:200). Par conséquent on a obtenu:

$$C_M (\bar{K}_H)_o^{50} = 1,716 B_o r = (10,7 \pm 1,1) 10^3 \text{ ohm/m}$$

$$Q/H_r (\bar{K}_H)_o^{50} = C_M I/2U_T (\bar{K}_H)_o^{50}$$

$$h/H_P = U/2U_T$$

où les symboles conservent leur signification.

Les valeurs J_v/H_T expérimentales furent estimées par différenciation numérique du genre:

$$Y'_{-1} = (4Y_o - 3Y_{-1} - Y_1)/2\Delta x$$

où:

-1,0,1 - indices coordonnés de 3 points colinéaires avec espacement Δx constant

Y'_{-1} - dérivée au point -1 (origine du filtre)

Y_{-1}, Y_o, Y_1 - valeurs de Y (potentiels) aux points -1,0,1

d'où la formule:

$$J_v/H_T = (4 U_o - U_1)/4 U_T B_o$$

ii) Les résultats expérimentaux aussi bien que l'expression graphique de ces régressions font partie du dessin 34.

Les photographies 5.4:1 et 5.4:2 avec les légendes respectives éclairent le texte.

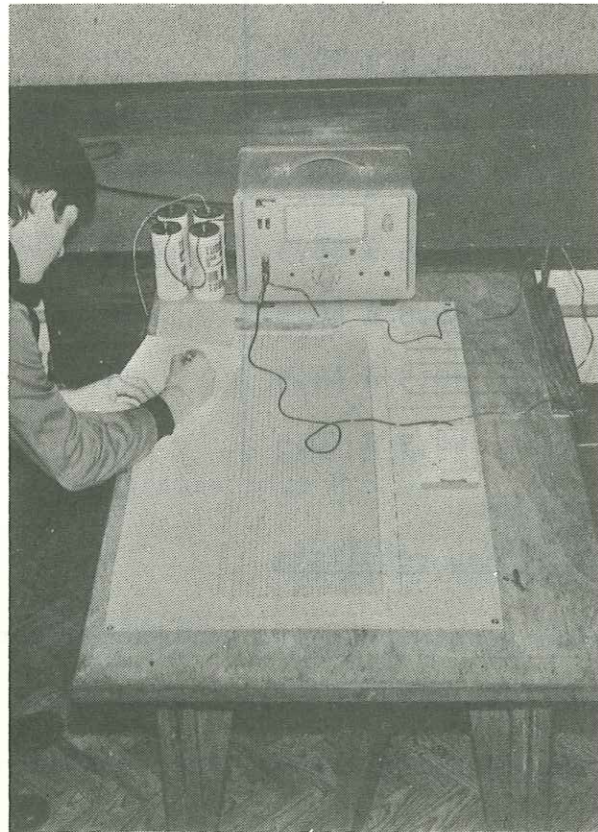
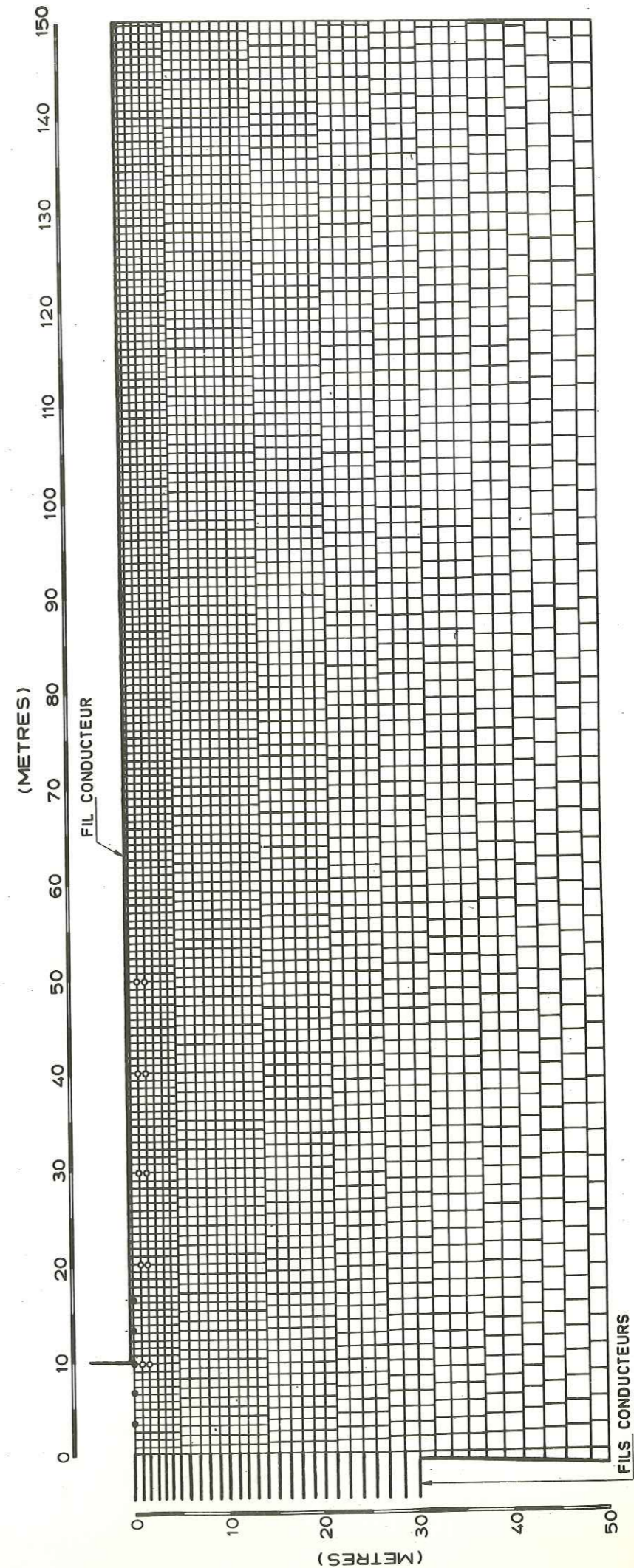


Photo 5.4:1: Vue général du modèle et de l'équipement lors des essais

Cliche 3117B

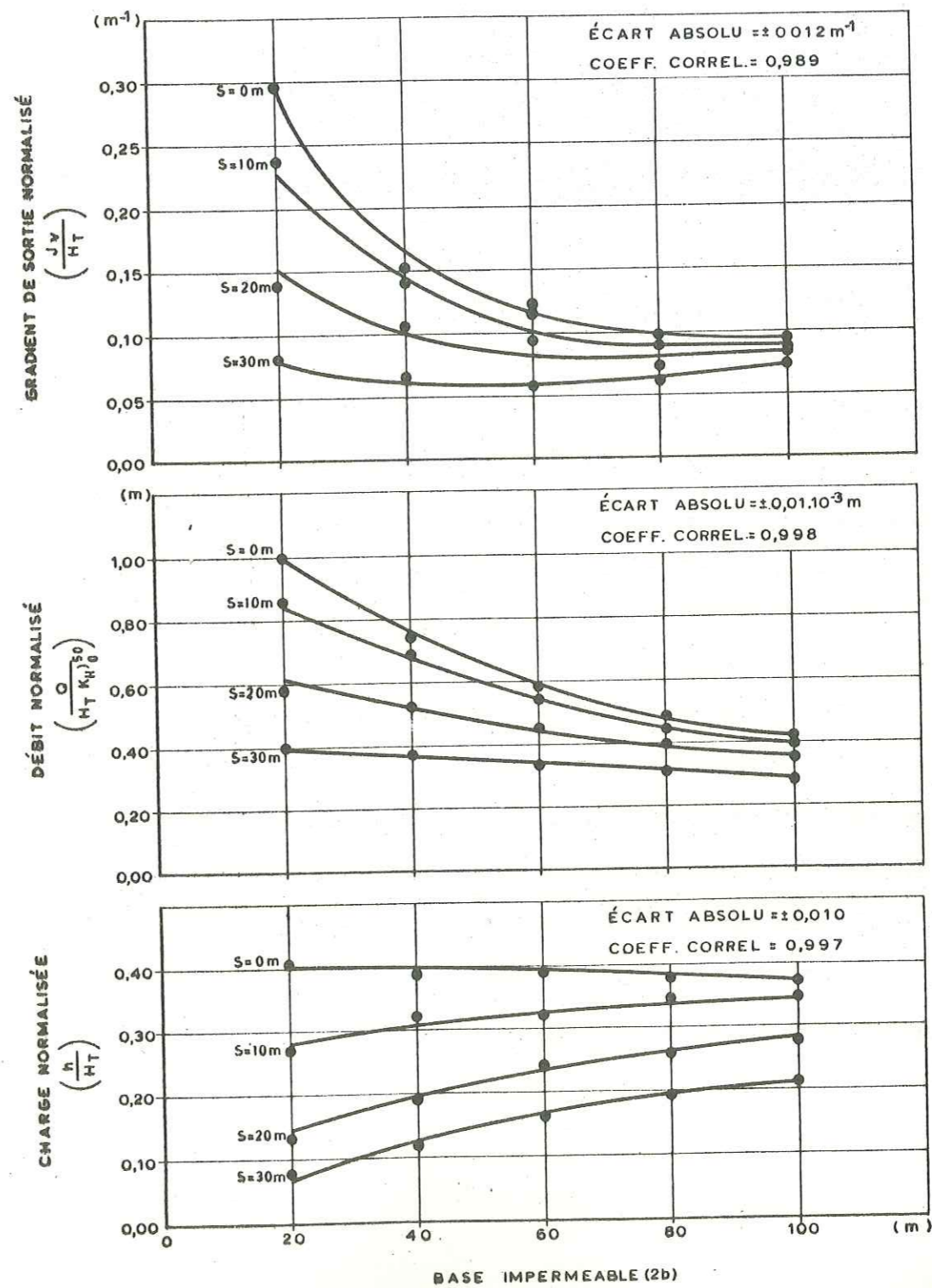
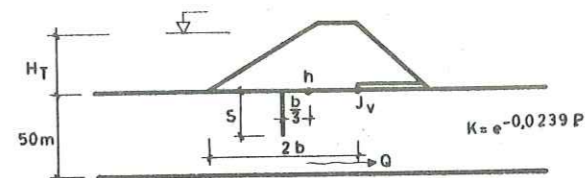
FONDATION AVEC $K = e^{0,0239 P}$
(CIRCUIT ELECTRORESISTANT)



• POINTS DE MESURE POUR L'ESTIMATION DE h

• POINTS DE MESURE POUR L'ESTIMATION DE Jv

ABaque POUR L'ESTIMATION DU COMPORTEMENT HIDRAULIQUE DES FONDATIONS AVEC $K = e^{-0,0239P}$



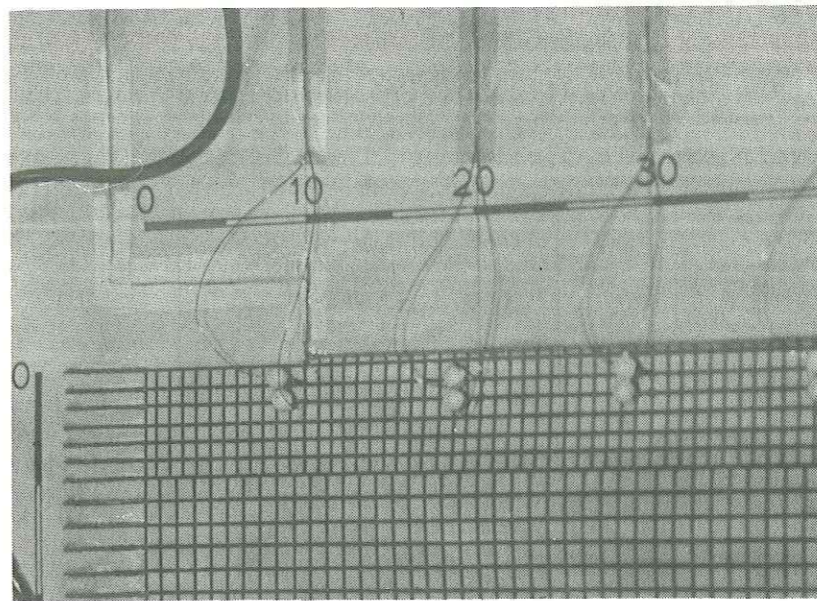


Photo 5.4:2 - Détail des points des mesures pour l'estimation numérique du gradient J_v

: Exemple tridimensionnel

Estimation préliminaire du comportement hydraulique de la fondation prévue pour le Barrage d'Alqueva (voir exemple 3.3:1), au contact de l'intersection de la fouille de son appui gauche avec une faille à faible pendage vers l'amont (voir dessin 35).

Observation: L'inexistence d'informations suffisantes pendant la réalisation de l'exemple n'a pas rendu possible l'estimation des effets découlants de la compressibilité du milieu rocheux aussi bien que de situer correctement les niveaux et attitudes des fouilles.

En conséquent, l'exemple actuel constitue seulement une première approximation de l'analyse. Des conclusions définitives exigeront des modèles à plus grand échelle sans négliger les aspects mentionnés.

Les étapes d'idéalisation du modèle furent les suivantes:

A) Détermination du caractère des éléments unitaires

i) L'espace étudié fût considéré homogène et anisotrope, défini par le tenseur (voir exemple 3.2:1):

$$\left[\bar{K}_{mn} \right] = \begin{bmatrix} 3,207 & 0 & 0 \\ 0 & 2,740 & 0 \\ 0 & 0 & 0,682 \end{bmatrix} \quad 10^{-6} \text{ m/s}$$

dont les cosinus directeurs des directions principales par rapport au référentiel NWZ prennent les valeurs:

$$\left[a_{mn} \right] = \begin{bmatrix} 0,587 & 0,781 & 0,221 \\ -0,434 & 0,070 & 0,898 \\ 0,685 & -0,620 & 0,380 \end{bmatrix}$$

ii) Sélection de l'échelle 1:250 ($e = 250$)

iii) En admettant $r_1 = r_2 = r_3 = r$, les modules A_m résultent des expressions:

$$A_m K_m = C_M / r$$

En choisissant $C_M / r = 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, on a:

$$A_1 = 3,13 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 3,65 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 14,70 \text{ m}^2$$

Les longueurs B_m résultent des expressions:

$$B_1 = (A_1^{-1} A_2 A_3)^{0,5} = 13,10 \text{ m}$$

$$B_2 = (A_2^{-1} A_3 A_1)^{0,5} = 11,20 \text{ m}$$

$$B_3 = (A_3^{-1} A_1 A_2)^{0,5} = 2,79 \text{ m}$$

En choisissant:

$$B'_1 = B_1/2, \quad B'_2 = B_2/2, \quad B'_3 = B_3$$

$$r'_1 = r'_2 = r'_3 = r'_3$$

Les rapports:

$$r_1 B_2 B_3 / n_1 = r'_1 B'_2 B'_3 / n'_1$$

$$r_2 B_1 B_2 / n_2 = r'_2 B'_1 B'_2 / n'_2$$

$$r_3 B_1 B_3 / n_3 = r'_3 B'_1 B'_3 / n'_3$$

permettent de changer le caractère des éléments unitaires vers (Fig.5.4:2):

$$B'_1 = B_1/2, \quad n'_1 = n_1/2, \quad r' = 2r$$

$$B'_2 = B_2/2, \quad n'_2 = n_2/2, \quad r' = 2r$$

$$B'_3 = B_3, \quad n'_3 = n_3/4, \quad r' = 2r$$

modifiant C_M/r vers $4C_M/r$

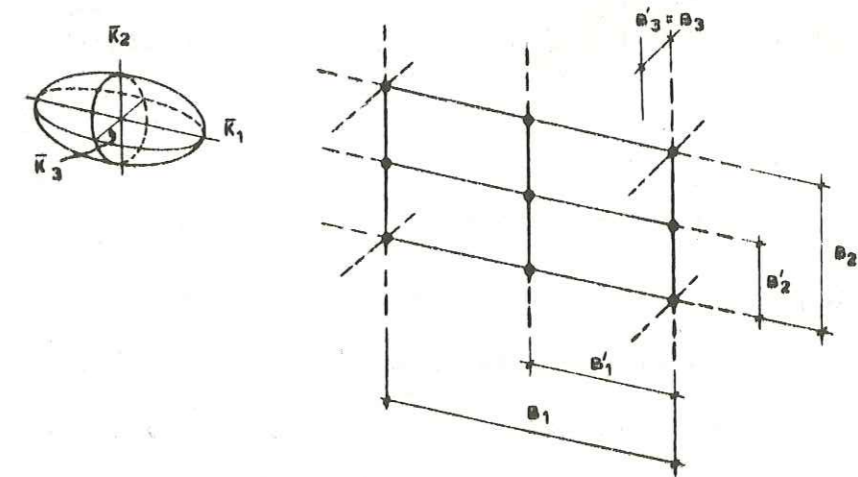


Fig. 5.4:2

B) Planification du circuit

i) Le dessin 35 indique les limites choisies pour l'espace étudié

Observation: Au voisinage des limites, la solution obtenue n'est pas correcte mais malgré tout, au coin de la faille les résultats sont satisfaisants.

Le plan de faille (défini par du matériel argileux provenant de son altération) fût admis imperméable par rapport au milieu fissuré.

Les surfaces d'entrée et sortie du courant fûrent considérées comme étant des immergences sous des lames d'eau et des émergences libres avec des potentiels variables.

ii) Le dessin 35 indique l'attitude du faisceau de plans (7) normaux à la direction 3, avec espacement B_3 .

Face au caractère préliminaire de l'analyse, le réseau n'a pas subi des ajustements aux limites.

C) Interprétation des résultats

i) Les potentiels H fûrent estimés par l'expression:

$$H = C_E U$$

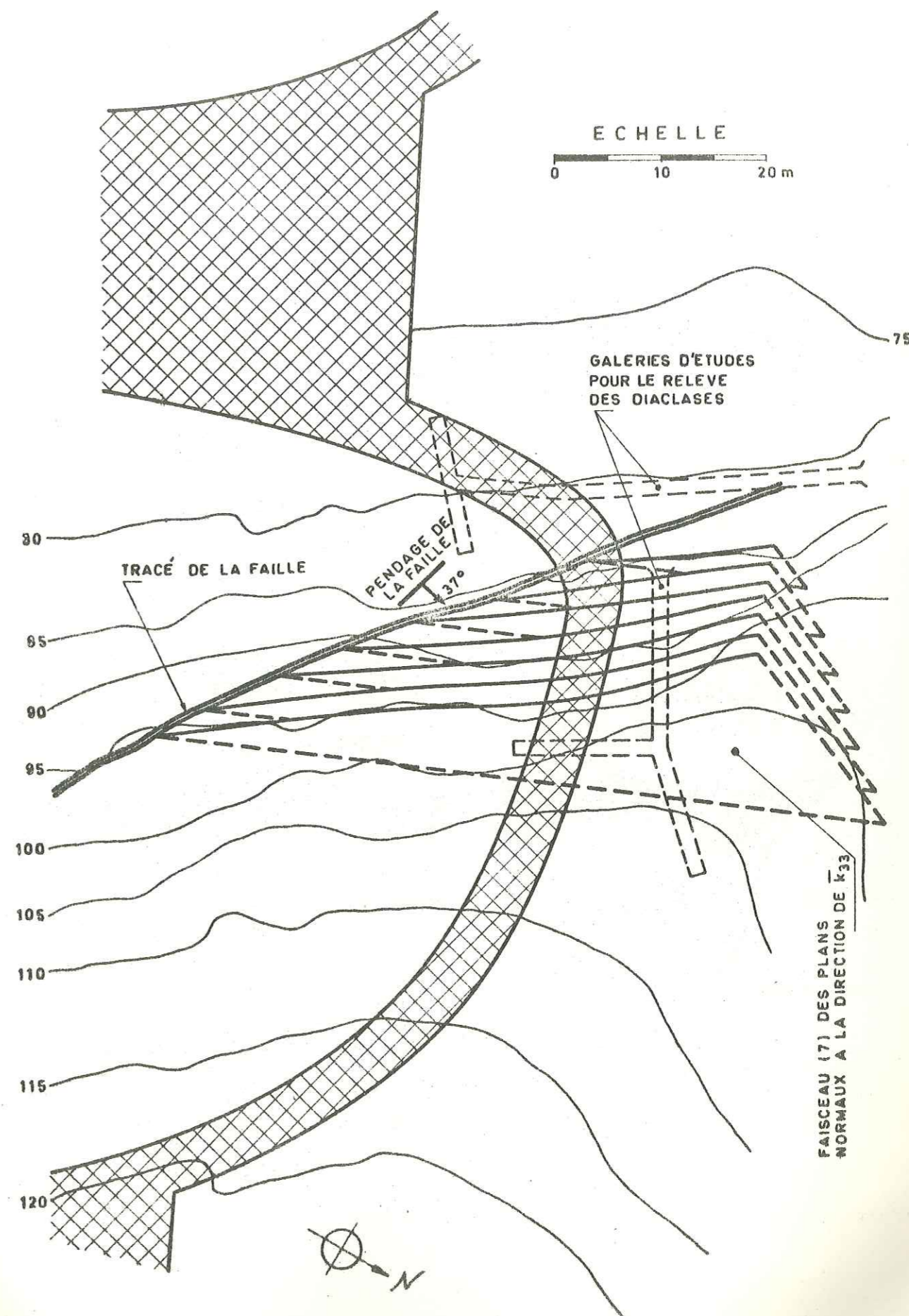
avec $C_E = 17,85 \text{ m/V}$ correspondante à $H_T = 55 \text{ m}$ et $U = 3V$.

Les photographies 5.4:3 à 5.4:6, avec les légendes respectives, éclairent les phases d'élaboration du modèle et de conduite des essais.

Les résultats obtenus, avec indication du réseau, font partie du dessin 36.

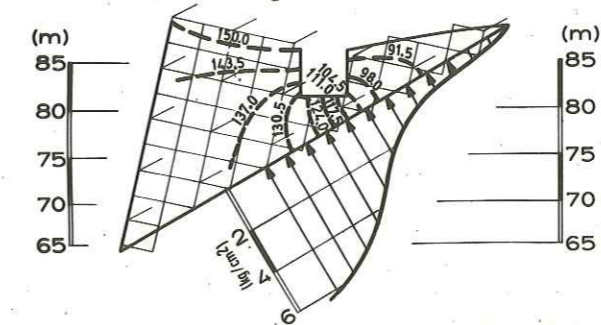
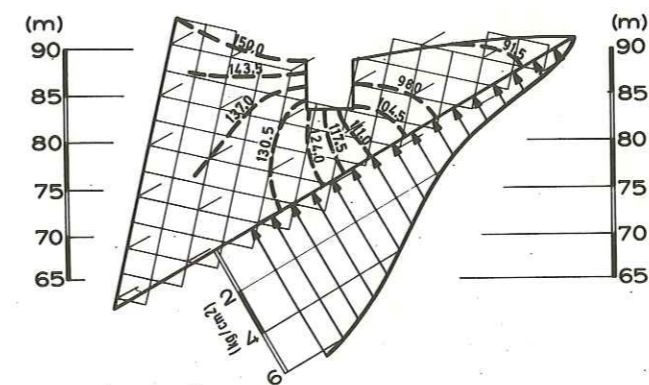
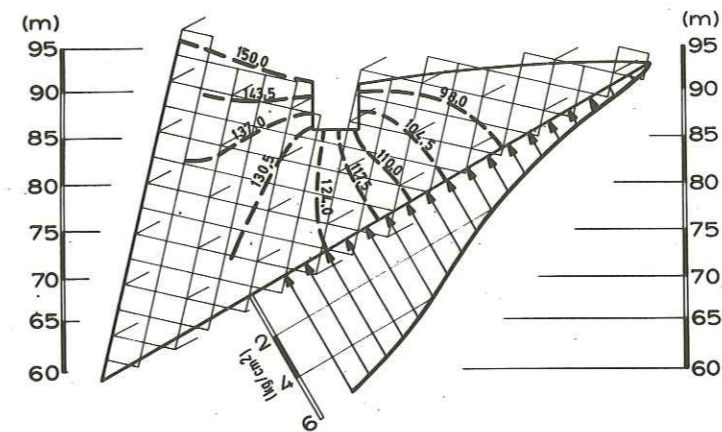
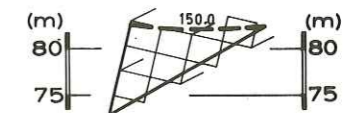
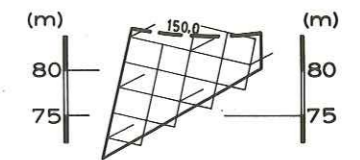
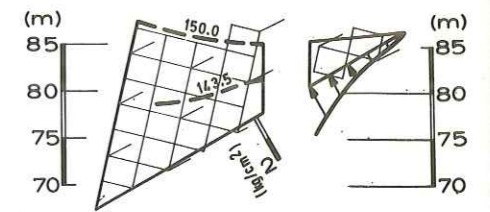
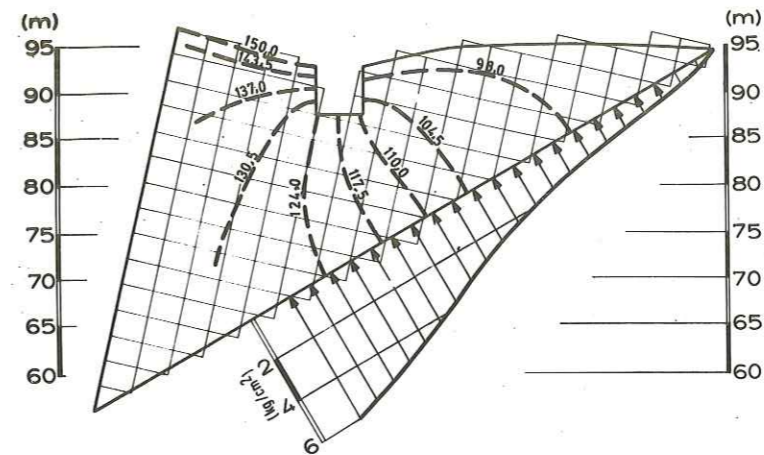
BARRAGE D'ALQUEVA

(APPUI GAUCHE)



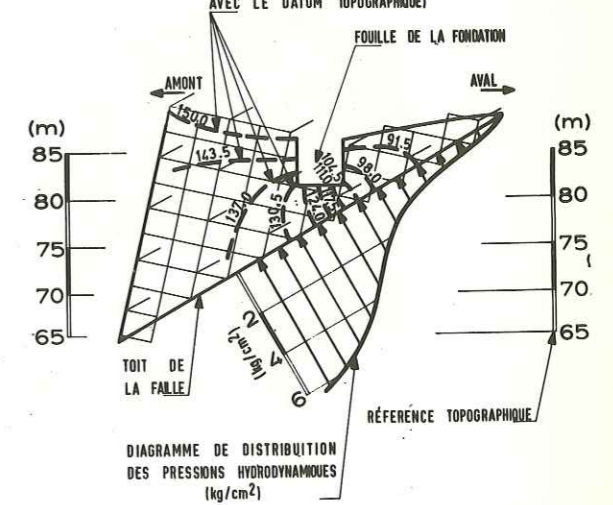
BARRAGE D' ALQUEVA

ETUDE PRELIMINAIRE DU COMPORTEMENT HYDRAULIQUE AU COIN DE LA FAILLE
(RIVE GAUCHE)



CONVENTIONS

INTERSECTIONS DES SURFACES-
EQUIPOTENTIELLES AVEC LE PLAN
(DATUM HYDRODYNAMIQUE COINCIDANT
AVEC LE DATUM TOPOGRAPHIQUE)



Cliché 31177

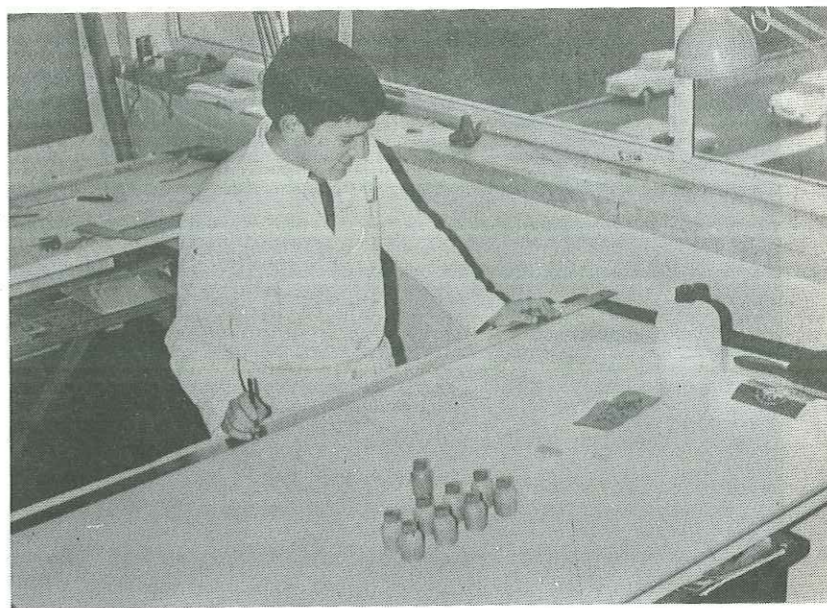


Photo 5.4:3 - Exécution du modèle. Noter les recipients de polyester avec de l'encre électrorésistante.

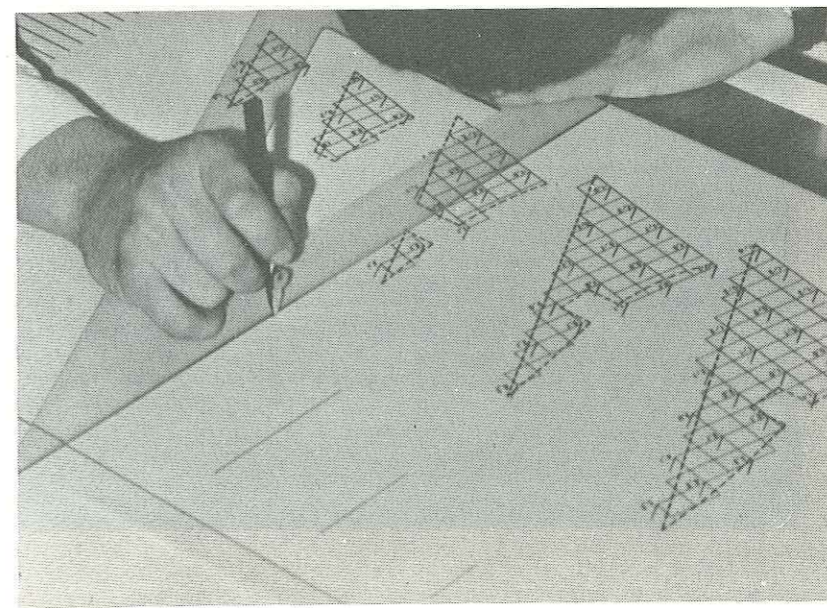


Photo 5.4:4 - Phase d'exécution du modèle: impression des résistances auxiliaires pour le maintien des potentiels variables aux émergences libres.

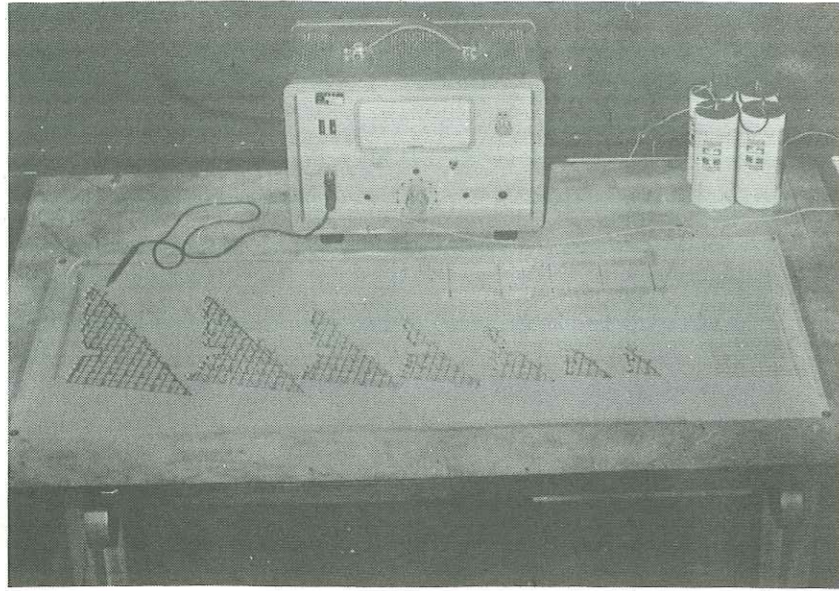


Photo 5.4:5 - Vue générale du modèle et de l'équipement lors des essais.

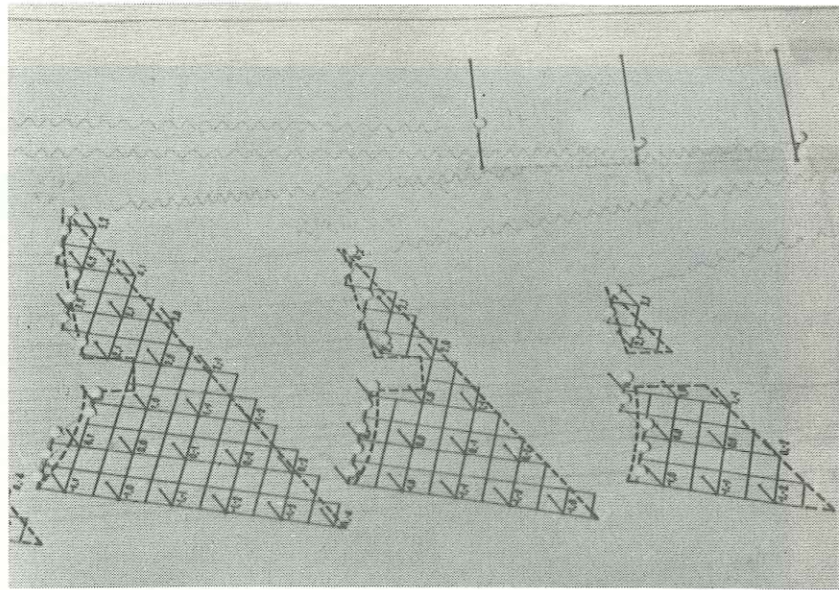


Photo 5.4:6 - Détail du modèle. Noter les raccordements individuels (fils parallèles) des extrémités libres des segments B_3 et les noeuds du réseau adjacent. Noter aussi l'application des potentiels variables aux émergences.

C O N C L U S I O N

6 - CONSIDÉRATIONS FINALES

Lors de l'établissement d'un ouvrage, la valeur des résultats de l'analyse théorique du comportement mécanique d'un massif rocheux diaclasé ressort (outre la valeur de la méthode d'analyse employée) de l'examen préalable de son comportement hydraulique.

La réunion ordonnée des principes et des normes permettant une appréciation satisfaisante (par rapport aux exigences de la géotechnologie actuelle) du comportement hydraulique des systèmes fissurés indéformables en régime stationnaire linéaire, constitue l'objectif majeur du texte présenté, dont la première partie renferme des questions essentielles concernant l'utilisation des relevés statistiques des diaclases, et dont la seconde partie résume une méthode générale d'analogie électrodynamique exempte de conditions astreignantes.

La première partie considère l'évaluation de la conductivité hydraulique des massifs diaclasés. La seconde partie examine l'utilisation et l'emploi de la technique électroanalogique proposée.

L'application des principes et des normes suggérés simplifie la nature selon un modèle dont la similitude avec la réalité résulte de l'exactitude et le détail des renseignements géologiques (portant sur les facteurs et aspects hydrauliques, lithologiques et surtout structuraux) outre la plus ou moins grande complexité du milieu fissuré.

L'ampleur et l'acuité du levé géologique (réalisé à l'aide de forages, puits, tranchées, galeries, essais Lugeon, prospection géophysique, etc...) gardent une proportion directe avec l'importance relative (en fonction des conséquences à bref et à long délai) de l'ouvrage prévu.

Les renseignements géologiques autorisent une simulation plausible de l'évolution spatiale de la perméabilité, permettant la détermination

des limites intérieurs et extérieures des sousrégions définie par des conductivités hydrauliques K différenciées en fonction de leurs diaclasages (toujours en termes relatifs statistiquement, avec une marge d'incertitude qui dépend du détail du levé et des aléas des discontinuités réelles). La conformation extérieure du milieu associée aux conditions hydrauliques limites définissent le caractère et les contours des limites extérieurs du modèle d'analyse électroanalogique.

Les principales conclusions concernant la première partie de la thèse sont les suivants:

: En ce qui concerne le coefficient de perméabilité des milieux fissurés:

. Le coefficient de perméabilité k d'une fissure plane s'exprime par un tenseur symétrique de rang 2:

$$\begin{bmatrix} k_{ij} \end{bmatrix}$$

dont les valeurs principales constituent des fonctions empiriques de son ouverture \bar{o} , de sa rugosité relative \bar{r} et de son sectionnement spécifique linéaire \bar{s} .

. Le coefficient de perméabilité K d'un faisceau de fissures planes parallèles, statistiquement homogènes, défini par une porosité transversale \bar{n} , s'exprime par le tenseur symétrique de rang 2:

$$\begin{bmatrix} K_{ij} \end{bmatrix} = \bar{n} \begin{bmatrix} k_{ij} \end{bmatrix}$$

. Le coefficient de perméabilité K de plusieurs faisceaux quelconques de fissures parallèles K' , K'' , ..., rapportés au même référentiel x_i , s'exprime par le tenseur symétrique de rang 2:

$$\begin{bmatrix} K_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K'_{ij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K''_{ij} \end{bmatrix} + \dots = \left[n' k'_{ij} + n'' k''_{ij} + \dots \right]$$

: En ce qui concerne le régime d'écoulement dans les milieux fissurés:

. Les fissures planes définies par des ouvertures \bar{o} inférieures à 1 mm admettent seulement des régimes laminaires pour des gradients hydrauliques J inférieurs à 10.

. Seules 4,77 à 11,75% des résultats des essais Lugeon (avec pression manométrique maximum de 5 atm) accusent un régime probablement turbulent.

: En ce qui concerne l'assimilation des massifs discontinus à des massifs continus (par rapport à la conductivité hydraulique):

. Les massifs rocheux définis par des diaclasages relatifs $\bar{\epsilon}/L$, statistiquement homogènes ($\bar{\epsilon}$ étant l'espacement moyen entre fissures et L étant la dimension linéaire moyenne du milieu), inférieurs à 0,1 sont assimilables à des milieux continus avec une erreur tolérable.

: En ce qui concerne le diaclasage et la perméabilité des vallées fluviales du Brésil:

: 73,1 à 94,2% des fondations rocheuses des vallées présentent une réduction du coefficient de perméabilité K avec l'accroissement de la profondeur P et/ou de l'indice de récupération R , susceptible d'une estimation quantitative par une régression du genre $K = f(P,R)$.

. Les coefficients de perméabilité K des vallées semblent être peu influencés par les facteurs lithologiques.

. L'évolution spatiale et temporelle des coefficients de perméabilité K , de l'espacement entre fissures $\bar{\epsilon}$, de l'ouverture des fissures \bar{o} et de la porosité \bar{n} , semblent être très influencés par l'évolution géomorphologie des vallées, susceptibles des estimations quantitatives par des régressions du genre $\bar{K}_H^50 = f(\bar{D}, \bar{R})$, $\bar{\epsilon} = f(\bar{D})$, $\bar{o} = f(\bar{D})$ et $\bar{n} = f(\bar{D})$ (\bar{D}

étant la declivité moyenne de la vallée, \bar{R} étant l'indice de récupération moyen, K_H étant le coefficient de perméabilité horizontale moyen).

. L'existence d'un certain rapport parmi les différents stades d'évolution géomorphologique des vallées et l'évolution parallèle de la fissuration suggère que l'apparition graduelle des diaclases est le résultat des phénomènes progressifs de rupture fragile dûs au développement spatial et temporel des gradients de relaxation des contraintes et des déformations associées aux processus de dénudation.

: En ce qui concerne le traitement des fondations par injections.

. La réduction efficace des effets indésirables d'un flux soussurfaciel important sous un barrage (fuites excessives, érosion interne, sous pressions élevées, etc ...), en particulier pour les vallées jeunes, résulte d'avantage d'un traitement superficiel bien poussé (jusqu'à 10 ou 15 m de profondeur) que d'un traitement profond moins rigoureux (jusqu'à 30 ou 40 m).

. Les fondations rocheuses des vallées jeunes (alluvions exclues), plus adaptées aux barrages à base mince, non seulement peuvent subir des traitements par injections à la fois économiques et efficaces mais aussi utiles aux ouvrages. Par contre, les fondations rocheuses des vallées anciennes, plus adaptées aux barrages à base large, (des digues en terre, par exemple) ne peuvent subir des traitements économiques et efficaces, lesquels sont d'ailleurs peu utiles aux ouvrages.

Les principaux avantages de la variante de la méthode électroanalogique proposée sont les suivants:

. Exécution facile et rapide, exigences matérielles minimales, prix de revient dérisoire.

. Méthode convenable pour l'étude des milieux poreux ou fissurés, anisotropes et/ou hétérogènes, à deux ou trois dimensions.

. Estimation précise des potentiels (du point de vue technique), outre la possibilité d'effectuer un modèle avec plusieurs échelles simultanées.

Dans le domaine de l'hydraulique des milieux fissurés, plusieurs aspects se rapportant aux phénomènes de flux (ignorés par l'auteur) restent obscurs et méritent des investigations détaillées (théoriques et expérimentales), surtout en ce qui concerne les comportements transitoires (récentement examinés par SERAFIM, réf. bib. 19) et avec la modification du caractère de la conductivité hydraulique quand les milieux rocheux sont soumis à des altérations prolongées de leur "statu quo" (degré de saturation, état de contrainte, gradient hydraulique, etc...).

Les commentaires principaux découlant de l'expérience et des observations de l'auteur, accumulées pendant la réalisation du travail, sont les suivants:

i) L'étude des propriétés des milieux rocheux en termes tensoriels permet de caractériser des situations complexes comme étant le résultat de l'association (obéissant aux normes compatibles avec la nature de la propriété envisagée) de leurs composantes élémentaires, rendant possible l'établissement des rapports précieux avec les données lithostructurales et, par conséquent, l'interprétation correcte et la généralisation des résultats des essais de terrain et de laboratoire (voir par exemple, les recherches sur l'anisotropie des roches conduites par PERES RODRIGUES, réf. bib. 20).

Comme corollaire, en considérant la puissance des moyens d'analyse actuellement disponibles et en faisant ressortir la méthode récente des

éléments finis (voir par exemple ZIENKIEWICZ et CHEUNG, réf. bib. 21), la détermination rigoureuse du caractère et de la distribution des propriétés des milieux rocheux a une importance essentielle, exigeant, de la part des ingénieurs, non seulement le perfectionnement des techniques sophistiquées des essais, mais aussi, de la part des géologues, l'évolution des méthodes et des instruments de terrain (en particulier les techniques de photogéologie et de photogramétrie terrestres), conduisant à l'élaboration de cartes géologiques (à petite échelle) des endroits prévus pour l'implantation des ouvrages, avec le détail et la précision compatibles avec l'idéalisation des modèles d'analyse du comportement du milieu rocheux.

ii) La fixation (théorique ou expérimentale) des critères relatifs qui conditionnent l'échelle d'application des équations d'équilibre des phénomènes de base intervenant dans l'analyse du comportement des milieux rocheux (voir par exemple ROCHA, réf. bib. 22), mérite effectivement une attention spéciale car on peut simplifier le traitement des situations complexes ou éviter l'acceptation des conclusions incorrectes (éventuellement très compromettantes) découlant de simplifications inacceptables.

iii) Malgré leur valeur relative, les conclusions et considérations concernant la perméabilité des milieux rocheux et la genèse probable des diaclases (faisant partie du chapitre 4) proviennent de l'interprétation d'informations incomplètes et imprécises, et n'autorisent pas des conclusions définitives. Seule l'utilisation des techniques d'échantillonnage intégral (ROCHA, réf. bib. 7) correctement interprétées (y compris l'adoption des paramètres plus significatifs), permettant une compréhension satisfaisante de la conductivité hydraulique des milieux naturels fissurés.

Vu
Grenoble, le
Le Président de la Thèse,

Jean SARROT
~~Jean SARROT~~

Vu
Grenoble, le
Le Doyen de la Faculté des Sciences

E. BONNIER

Vu, et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Grenoble

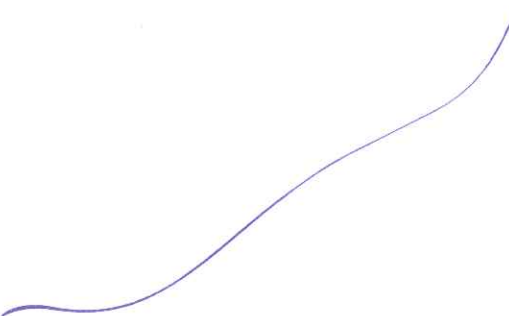
M. NIVEAU

1907-1908
1907-1908

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - ZWIKKER, C.: "Physical Properties of Solid Materials", Pergamon Press, London - New York, 1954.
- 2 - KOERBER, G.G.: "Properties of Solids", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1962.
- 3 - FRANCISS, F.O.: "Pequeno Estudo Concernente a Permeabilidade de Fundações Rochosas", V Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, Rio de Janeiro, 1968.
- 4 - FRANCISS, F.O.: "Modêlo Electroanalógico Simplificado", III Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Fundações, Belo Horizonte, 1966.
- 5 - LOUIS, C.: "Strömungsvorgänge in klüftigen Medien und ihre Wirkung auf die Standisicherheit von Bauwerken und Böschungen im Fels", Dissertation Universität (TH), Karlsruhe, 1967.
- 6 - BOGOMOLOV, G.V. et SLIN - BEKTCHOURINE, R.I.: "Hydrologie Spécialisée", Annales du Service d'Information Géologique n^o. 37, 1959.
- 7 - ROCHA, M.: "A Method for Integral Sampling of Rock Masses", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1970. En impression.
- 8 - SNOW, D.T.: "Three-Hole Pressure Test for Anisotropic Foundations Permeability", Rock Mechanics and Engineering Geology, Vol. IV/4, Springer-Verlag, 1966.
- 9 - BOGOMOLOV, G.V.: "Hydrogéologie", Editions de la Paix, Moscou, 1965.
- 10 - : "Multiple Stepwise Linear Regression: CRRG", University of Pennsylvania, 1964.
- 11 - SNEDECOR, G.W.: "Statistical Methods", Iowa State College Press, 1946.
- 12 - SNOW, D.T.: "Rock Fracture Spacings, Openings, and Porosities", Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, SM1, ASCE, 1968.
- 13 - FRANCISS, F.O.; PUCCINI, A.: "Identification of Subsets by Simultaneous Appreciation of Random Multivariate Samples", Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1970.
- 14 - PRICE, N.J.: "Fault and Joint Development in Brittle and Semibrittle Rocks", Pergamon Press, Oxford, 1965.

- 15 - EMERY, C.L.: "The Strain in Rocks in Relation to Highway Design", Department of Min. Eng., Univ. of Brit Col., Canada, 1966.
- 16 - SCOTT, R.F.: "Principles of Soil Mechanics", Addinson - Wesley, New York, 1963.
- 17 - UGINCHUS, A.A. : "Seepage Through Earth Dams", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1966.
- 18 - ARAVIN, V.I. et NUMEROV, S.N.: "Theory of Fluid Flow in Undeformable Porous Media", Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, 1965.
- 19 - SERAFIM, L.: "Influence of Interstitial Water on Rock Masses" in "Rock Mechanics in Engineering Practice", edité par STAGG, K.G. et ZIENKIEWICZ, O.C., John Wiley, New York, 1968.
- 20 - PERES RODRIGUES, F.: "Anisotropy of Rocks: Most Probable Surfaces of the Ultimate Stresses and of the Moduli of Elasticity", 2^{ème} Congrès International de Mécanique des Roches, Thème 2, Beograd, 1970.
- 21 - ZIENKIEWICZ, O.C. et CHEUNG, Y.K.: "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics", MacGraw Hill, London, 1967.
- 22 - ROCHA, M.: "Mechanical Behaviour of Rock Foundations in Concrete Dams", Mem. n^o. 244, LNEC, Lisbonne, 1965.



ANNEXE A : METHODE D'ANALYSE ET RÉSULTATS DES ESSAIS CONCERNANT
L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE
DES MILIEUX FISSURÉS

1 - Préliminaires

La détermination expérimentale du tenseur K ressort des étapes suivantes:

i) Pour chaque modèle (Fig. A:1), réalisation d'un essai suivant l'axe X_1 (côté gauche +, côté droit -) et un autre essai suivant l'axe X_2 (côté supérieur +, côté inférieur -), en mesurant les densités de courant respectives H_{11} et V_{12} aussi bien que les coordonnées (X_1, X_2, HX_3) et (X_1, X_2, VX_3) de N points que définissent les surfaces équipotentielles de chaque essai.

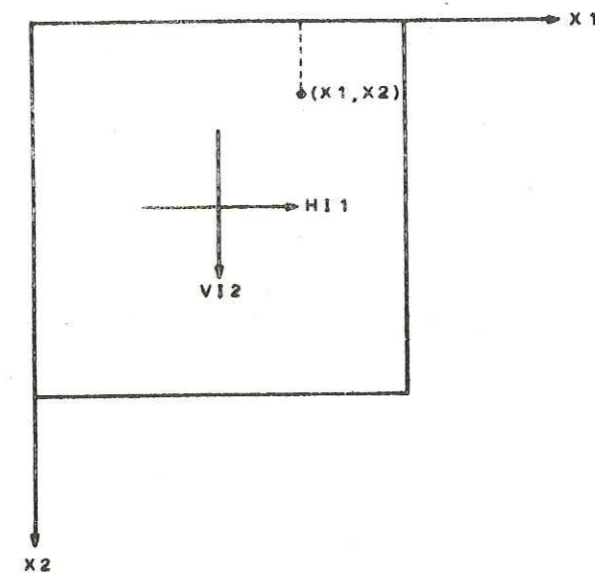


Fig. A:1

ii) Conversion des mesures électriques aux équivalentes hydrauliques avec emploi des constantes de l'essai et du modèle.

iii) Estimation des surfaces équipotentiellles de chaque essai par la méthode des moindres carrés appliquée aux coordonnées des N points de mesures. Leurs pendages définissent les gradients hydrauliques des écoulements et les orientations des équipotentielles (la direction d'une equi

potentielle d'un essai correspondant à la direction de l'écoulement de l'autre essai, une fois que pour les milieux anisotropes les équipotentielles et lignes de courant ne sont pas orthogonales).

iv) Estimation des composantes du tenseur K moyennant la résolution du système d'équations:

$$K_{11} J_1^H + K_{12} J_2^H = V_1^H$$

$$K_{21} J_1^H + K_{22} J_2^H = V_2^H$$

$$K_{11} J_1^V + K_{12} J_2^V = V_1^V$$

$$K_{21} J_1^V + K_{22} J_2^V = V_2^V$$

où:

K_{ij} - composantes de K par rapport au référentiel $X_1 X_2$

V_i, J_j - gradients hydrauliques et vitesses d'écoulement dans les essais H et V

v) Estimation des invariants du tenseur K

2 - Programme de calcul

: Données d'entrée:

N - quantité des points

A - valeur de la constante de l'essai C_E (en m/v)

B - valeur de la constante du modèle C_M (en m^2 ohm/s)

HI1, VI2 - densités de courant suivant les axes XI et X2 (en A)

(XI, X2, HX3), (XI, X2, VX3) - coordonnées des surfaces équipotentielles pour chaque essai (X_1 et X_2 normalisées par rapport à L et HX3 et VX3 en V)

: Données de sortie:

FKI1 - invariant $I_1 = (\bar{K}_1 + \bar{K}_2)/2$

FKI2 - invariant $I_1' = (\bar{K}_1 - \bar{K}_2)/2$

T - angle de l'orientation principale avec l'axe X1 (pour $\alpha=30^\circ, 60^\circ$ et 90°) ou avec l'axe X2 (pour $\alpha=90^\circ, 20^\circ$ et 150°)

RH, RV - degrés de corrélations correspondantes aux régressions qui définissent les surfaces équipotentielles.

: Suite du programme:

```
&JOB; FOF;
&FORTRAN;
  DIMENSION X1(100), X2(100), HX3(100), VX3(100)
  NUMBER=0
  10 READ(3,1)N
  1  FORMAT(13)
  IF (N.EQ.999) STOP
  20 READ(3,2)A,B,HI1,VI2
  2  FORMAT(4F0.0)
  NUMBER=NUMBER+1
  WRITE(5,3)NUMBER
  3  FORMAT(1H1,9X,5HTEST,13)
  WRITE(5,4)
  4  FORMAT(1H0,9X,10HINPUT DATA)
  WRITE(5,5)
  5  FORMAT(1H0,14X,1HN,9X,1HA,9X,1HB,9X,3HHI1,7X,3HVI2)
  WRITE(5,6),N,A,B,HI1,VI2
  6  FORMAT(1H0,10X,15,4X,4F10.4)
  30 READ(3,7)(X1(L),X2(L),HX3(L),VX3(L),L=1,N)
  7  FORMAT(4F0.0)
  WRITE(5,8)
  8  FORMAT(1H0,19X,2HX1,8X,2HX2,7X,3HHX3,7X,3HVX3)
  WRITE(5,9)(X1(L),X2(L),HX3(L),VX3(L),L=1,N)
  9  FORMAT(1H0,13X,4F10.4)
  DO 100 L=1,N
  HX3(L)=HX3(L)*A
  VX3(L)=VX3(L)*A
  100 CONTINUE
  FN=N
  FNL=FN-1.
  AX1=X1(1)
  AX2=X2(1)
  AHX3=HX3(1)
  AVX3=VX3(1)
  DO 200 M=1,2
  SX1=0.
  SX2=0.
  SHX3=0.
  SVX3=0.
```

```

DO 199 L=1,N
SX1=SX1+(X1(L)-AX1)
SX2=SX2+(X2(L)-AX2)
SHX3=SHX3+(HX3(L)-AHX3)
SVX3=SVX3+(VX3(L)-AVX3)
199 CONTINUE
AX1=SX1/FN+AX1
AX2=SX2/FN+AX2
AHX3=SHX3/FN+AHX3
AVX3=SVX3/FN+AVX3
200 CONTINUE
SX1=0.
SX2=0.
SHX3=0.
SVX3=0.
SX1X2=0.
SX1HX3=0.
SX1VX3=0.
SX2HX3=0.
SX2VX3=0.
DO 300 L=1,N
X1(L)=X1(L)-AX1
X2(L)=X2(L)-AX2
HX3(L)=HX3(L)-AHX3
VX3(L)=VX3(L)-AVX3
SX1=SX1+X1(L)*X1(L)
SX2=SX2+X2(L)*X2(L)
SHX3=SHX3+HX3(L)*HX3(L)
SVX3=SVX3+VX3(L)*VX3(L)
SX1X2=SX1X2+X1(L)*X2(L)
SX1HX3=SX1HX3+X1(L)*HX3(L)
SX1VX3=SX1VX3+X1(L)*VX3(L)
SX2HX3=SX2HX3+X2(L)*HX3(L)
SX2VX3=SX2VX3+X2(L)*VX3(L)
300 CONTINUE
VX1=SX1/FNL
VX2=SX2/FNL
VHX3=SHX3/FNL
VVX3=SVX3/FNL
VX1X2=SX1X2/FNL
VX1HX3=SX1HX3/FNL
VX1VX3=SX1VX3/FNL
VX2HX3=SX2HX3/FNL
VX2VX3=SX2VX3/FNL
V=VX1*VX2-VX1X2**2
HJ1=(VX1HX3*VX2-VX2HX3*VX1X2)/V
HJ2=(VX2HX3*VX1-VX1HX3*VX1X2)/V
VJ1=(VX1VX3*VX2-VX2VX3*VX1X2)/V
VJ2=(VX2VX3*VX1-VX1VX3*VX1X2)/V
RH=SQRT((HJ1+VX1HX3+HJ2+VX2HX3)/VHX3)
RV=SQRT((VJ1+VX1VX3+VJ2+VX2VX3)/VVX3)
HD=AHX3-AX1*HJ1-AX2*HJ2
VD=AVX3-AX1*VJ1-AX2*VJ2
H1=-(HD/HJ1)
H2=-(HD/HJ2)
V1=-(VD/VJ1)
V2=-(VD/VJ2)

```

```

H01=A*B*H11
H02=H01*V2/V1
V02=A*B*V12
V01=V02*H1/H2
FK11=-(H01/HJ2-V01/VJ2)/(HJ1/HJ2-VJ1/VJ2)
FK22=-(H02/HJ1-V02/VJ1)/(HJ2/HJ1-VJ2/VJ1)
FK12=-(H01/HJ1-V01/VJ1)/(HJ2/HJ1-VJ2/VJ1)
FK21=-(H02/HJ2-V02/VJ2)/(HJ1/HJ2-VJ1/VJ2)
FK11=0.5*(FK11+FK22)
FK12=0.5*(SQRT((FK11-FK22)**2+4.*FK12*FK21))
T=0.5*ATAN((FK12+FK21)/(FK11-FK22))
T=T*57.29578
WRITE(5,11)
11 FORMAT(1H0,9X,11HOUTPUT DATA)
WRITE(5,12)
12 FORMAT(1H0,13X,4HFK11,6X,4HFK12,9X,1HT,9X,2HRH,8X,2HRV)
WRITE(5,13)FK11,FK12,T,RH,RV
13 FORMAT(1H0,10X,2E10.4,3F10.4,////)
GO TO 10
END
&RUN;

```

: Présentation des résultats

TEST 1	$\alpha=30^\circ$		$e/l=0,1$		
INPUT DATA	A	B	H11	V12	
N					
11	1.0000	178.0000	0.2800	0.0150	
	X1	X2	HX3	VX3	
	0.4800	0.0900	1.7200	2.5200	
	0.8600	0.1900	0.2600	2.1600	
	0.8500	0.5000	0.2400	1.3200	
	0.8600	0.8100	0.3800	0.5600	
	0.4900	0.9100	1.4400	0.2600	
	0.1100	0.8100	2.5400	0.5200	
	0.1200	0.5000	2.5600	1.3800	
	0.1000	0.1900	2.8200	2.1400	
	0.4700	0.2900	1.7600	1.8800	
	0.5000	0.5000	1.7200	1.3400	
	0.4800	0.7100	1.4500	0.7800	
OUTPUT DATA	FK11	FK12	T	RH	RV
	0.8597E+010	0.7595E+01	0.0000	0.9892	0.9998

TEST 2 $\alpha = 30^\circ$ $e/l = 0,2$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	193.0000	0.1050	0.0010
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.0900	1.5200	2.3800
	0.7400	0.1500	0.8600	1.9400
	0.7500	0.4400	0.6600	1.1800
	0.7500	0.8400	0.8200	0.3200
	0.5000	0.9100	1.5000	0.1600
	0.2600	0.8500	2.1800	0.3200
	0.2600	0.5800	2.0500	0.8800
	0.2600	0.1600	2.1000	1.9600
	0.5000	0.3000	1.4000	1.5000
	0.5000	0.5000	1.2800	1.0400
	0.5000	0.7000	1.5400	0.6400

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.3745E+01 0.3667E+01 -0.0000 0.9868 0.9912

TEST 3 $\alpha = 60^\circ$ $e/l = 0,1$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	196.0000	0.2050	0.0700
	X1	X2	HX3	VX3
	0.3000	0.1500	1.9200	2.2200
	0.7100	0.1500	0.7600	2.3800
	0.9000	0.5000	0.2800	1.3600
	0.7000	0.8400	0.9600	0.4400
	0.2900	0.8400	2.2200	0.3400
	0.0900	0.5000	2.5600	1.0900
	0.5000	0.2700	1.3400	1.9400
	0.7000	0.5000	0.8400	1.3400
	0.5000	0.7300	1.5600	0.6800
	0.3000	0.5000	2.0000	1.2200
	0.5000	0.5000	1.4400	1.2800

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.9498E+01 0.4530E+01 0.0000 0.9987 0.9981

TEST 4 $\alpha = 60^\circ$ $e/l = 0,2$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	182.0000	0.1050	0.0280
	X1	X2	HX3	VX3
	0.3200	0.1500	1.8400	2.2400
	0.7100	0.1500	0.7800	2.2000
	0.8300	0.3200	0.4800	1.7600
	0.8300	0.6900	0.4600	0.6400
	0.7200	0.8500	0.7000	0.2600
	0.3200	0.8500	1.8400	0.3200
	0.1800	0.6900	2.3800	0.6800
	0.1800	0.3100	2.4400	1.5800
	0.5100	0.2700	1.3600	1.9000
	0.5000	0.5000	1.4400	1.1800
	0.5100	0.7300	1.3400	0.5800

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.4173E+01 0.2325E+01 0.0000 0.9966 0.9964

TEST 5 $\alpha = 60^\circ$ $e/l = 0,3$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	263.0000	0.0460	0.0080
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.1500	1.5400	2.3200
	0.8000	0.3200	0.6200	1.7600
	0.8000	0.6600	0.6300	0.8400
	0.6400	0.7500	1.0800	0.6400
	0.4900	0.8400	1.6400	0.4000
	0.2000	0.6700	2.4400	0.7200
	0.2000	0.3200	2.5800	1.7400
	0.3500	0.2400	2.0400	2.0000
	0.6600	0.4000	1.0000	1.5400
	0.3500	0.5800	1.9800	0.9600
	0.5000	0.5000	1.5000	1.2600

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.2288E+01 0.1530E+01 0.0000 0.9976 0.9968

TEST 6 $\alpha = 60^\circ$ $e/l = 0,4$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	198.0000	0.0400	0.0050
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.0300	1.5000	2.7600
	0.9200	0.2600	0.2600	1.9000
	0.9100	0.7300	0.2400	0.6000
	0.5100	0.9600	1.2800	0.0600
	0.1000	0.7300	2.7200	0.8200
	0.0900	0.2600	2.8000	1.9600
	0.3000	0.3800	2.2500	1.6800
	0.7100	0.3800	0.9200	1.6000
	0.7100	0.6200	0.9600	0.9600
	0.3000	0.6200	2.1200	1.0800
	0.5000	0.5000	1.5800	1.3200

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.1473E+01 0.1116E+01 -0.0000 0.9967 0.9969

TEST 7 $\alpha = 90^\circ$ $e/l = 0,1$
 INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	219.0000	0.1300	0.1320
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.2200	1.3200	2.1200
	0.7800	0.2200	0.4800	2.2000
	0.7800	0.5000	0.6000	1.3600
	0.7800	0.7800	0.6600	0.6400
	0.5000	0.7900	1.5000	0.5200
	0.2100	0.7800	2.3400	0.5400
	0.2100	0.5000	2.3600	1.2200
	0.2200	0.2200	2.2400	2.0400
	0.3600	0.3600	1.9800	1.5000
	0.6400	0.6400	1.0400	0.9400
	0.5000	0.5000	1.4900	1.2600

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.9911E+01 0.6808E+00 0.0000 0.9970 0.9948

TEST 8 $\alpha = 90^\circ$ $e/l = 0,2$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	240.0000	0.0510	0.0540
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.2200	1.2800	2.1500
	0.7800	0.2200	0.5000	2.2200
	0.7800	0.5000	0.5600	1.4600
	0.7800	0.7900	0.6600	0.5600
	0.5000	0.7900	1.5200	0.5600
	0.2200	0.7900	2.3400	0.4400
	0.2100	0.5000	2.2600	1.2200
	0.2200	0.2200	2.2800	2.1000
	0.3600	0.3600	1.8000	1.6600
	0.6400	0.6400	1.0200	0.9400
	0.5000	0.5000	1.4200	1.3200

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.4263E+010	0.2533E+00	-0.0000	0.9985	0.9987

TEST 9 $\alpha = 90^\circ$ $e/l = 0,3$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	218.0000	0.0350	0.0350
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.0800	1.2800	2.7000
	0.7200	0.2800	0.7400	2.0400
	0.9200	0.5000	0.1800	1.4200
	0.7200	0.7200	0.8400	0.8000
	0.5000	0.9400	1.4000	0.1800
	0.2900	0.7200	2.1200	0.7400
	0.0700	0.5100	2.7800	1.2200
	0.2800	0.2900	2.0200	1.9800
	0.4000	0.4000	1.6400	1.6200
	0.6200	0.6200	1.1200	1.0600
	0.5000	0.5000	1.4200	1.3800

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.2590E+010	0.4175E-01	0.0000	0.9973	0.9977

TEST 10 $\alpha = 90^\circ$ $e/l = 0,4$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
8	1.0000	296.0000	0.0200	0.0200
	X1	X2	HX3	VX3
	0.7800	0.2200	0.3400	2.4400
	0.7800	0.7800	0.4200	0.4000
	0.2200	0.7800	2.6200	0.2600
	0.2200	0.2200	2.4400	2.3600
	0.6400	0.3600	0.9300	1.8000
	0.6400	0.6400	0.9000	0.8400
	0.3600	0.6400	1.9600	0.8000
	0.5000	0.5000	1.3800	1.3600

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.1583E+010	0.2930E-01	0.0000	0.9988	0.9990

TEST 11 $\alpha = 120^\circ$ $e/l = 0,1$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	139.0000	0.0900	0.2940
	X1	X2	HX3	VX3
	0.4800	0.1000	1.3400	2.5200
	0.7800	0.2000	0.6400	2.2800
	0.8400	0.5000	0.5000	1.5000
	0.7800	0.8000	0.8000	0.5400
	0.4800	0.9000	1.7600	0.3000
	0.2000	0.7900	2.4800	0.5000
	0.1300	0.4900	2.5800	1.2400
	0.1900	0.1900	2.3200	2.1800
	0.4800	0.2900	1.4600	1.9600
	0.4900	0.5000	1.5200	1.3800
	0.4800	0.7000	1.6600	0.8200

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.9384E+010	0.5041E+01	-0.0000	0.9987	0.9988

TEST 12 $\alpha = 120^\circ$ $e/l = 0,2$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	209.0000	0.0200	0.1000
	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.1100	1.5000	2.6400
	0.9600	0.4900	0.1800	1.5600
	0.5000	0.8800	1.7600	0.3000
	0.0400	0.4900	2.8800	1.2000
	0.3800	0.3000	1.8400	1.9800
	0.6100	0.3000	1.2200	2.0400
	0.7200	0.5000	0.8800	1.5200
	0.6100	0.7000	1.3400	0.8200
	0.3900	0.6900	1.9600	0.8600
	0.2800	0.4900	2.2000	1.4000
	0.5000	0.5000	1.6000	1.4000

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.4181E+010	0.2756E+01	0.0000	0.9985	0.9977

TEST 13 $\alpha = 120^\circ$ $e/l = 0,3$

INPUT DATA

N	A	B	HI1	VI2
11	1.0000	233.0000	0.0080	0.0500
	X1	X2	HX3	VX3
	0.3200	0.2000	1.7800	2.3200
	0.6700	0.2100	0.8200	2.3800
	0.8400	0.5000	0.5200	1.5600
	0.6700	0.8000	1.0800	0.5800
	0.3200	0.8200	2.0800	0.4200
	0.1400	0.5000	2.6200	1.1200
	0.4100	0.3500	1.6400	1.8400
	0.5900	0.3500	1.1100	1.9000
	0.5800	0.6500	1.2700	0.9600
	0.4100	0.6500	1.7800	0.8600
	0.5000	0.5000	1.4800	1.3600

OUTPUT DATA

FKI1	FKI2	T	RH	RV
0.2211E+010	0.1577E+01	-0.0000	0.9966	0.9966

TEST 14 $\alpha = 120^\circ$ $e/l = 0,4$
 INPUT DATA
 N A B HI1 VI2
 11 1.0000 155.0000 0.0090 0.0500

	X1	X2	HX3	VX3
	0.2500	0.0800	2.1000	2.7000
	0.7300	0.1000	0.7200	2.6400
	0.9500	0.5000	0.1200	1.5200
	0.7200	0.8900	0.8600	0.3000
	0.2700	0.9000	2.1800	0.2400
	0.0200	0.4800	2.9400	1.4400
	0.3800	0.2900	1.7800	2.0000
	0.6200	0.2900	1.1000	2.0000
	0.6200	0.7100	1.1400	0.8400
	0.3800	0.7200	1.8400	0.7600
	0.5000	0.5000	1.4800	1.4200

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.1547E+010.1079E+01 -0.0000 0.9995 0.9992

TEST 15 $\alpha = 150^\circ$ $e/l = 0,1$
 INPUT DATA
 N A B HI1 VI2
 11 1.0000 136.0000 0.0100 0.3210

	X1	X2	HX3	VX3
	0.5000	0.1000	1.2600	2.4800
	0.6500	0.3000	0.9400	1.9200
	0.9100	0.4800	0.3000	1.5800
	0.6600	0.6700	1.0200	0.9200
	0.5000	0.8900	1.3800	0.2200
	0.3500	0.7000	1.8600	0.7600
	0.0900	0.5000	2.7400	1.2200
	0.3400	0.3000	1.8000	1.8400
	0.7100	0.5000	0.8600	1.3800
	0.2900	0.5000	2.0200	1.3000
	0.5000	0.5000	1.3800	1.3800

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.8020E+010.7551E+01 0.0000 0.9943 0.9989

TEST 16 $\alpha = 150^\circ$ $e/l = 0,2$
 INPUT DATA
 N A B HI1 VI2
 11 1.0000 135.0000 0.0010 0.1550

	X1	X2	HX3	VX3
	0.3800	0.1200	1.4600	2.5600
	0.5900	0.1400	0.9800	2.4800
	0.8000	0.1100	0.4200	2.6000
	0.9000	0.5000	0.2400	1.4600
	0.5900	0.9000	1.1000	0.2800
	0.3800	0.9000	1.6000	0.2400
	0.1700	0.9000	2.2400	0.2400
	0.0700	0.5100	2.6200	1.2600
	0.6900	0.5200	0.8100	1.3600
	0.2800	0.5000	1.8800	1.3600
	0.4900	0.5200	1.3000	1.3600

OUTPUT DATA
 FK11 FK12 T RH RV
 0.3619E+010.3570E+01 -0.0000 0.9959 0.9994

ANNEXE B : MÉTHODE D'ANALYSE CONCERNANT L'ÉTUDE DU
 RÉGIME D'ÉCOULEMENT DES ESSAIS LUGEON

1 - Préliminaires

L'analyse du régime d'écoulement des essais Lugeon ressort de l'examen de l'inégalité:

$$\lambda < \frac{|k_{\max} - k_{\min}|}{s}$$

où:

s - écart absolu des déterminations de k correspondant à une même perméabilité (en m/s)

k_{\max} , k_{\min} - valeurs extrêmes dans n déterminations de k (en m/s)

λ - tolérance maximum du rapport $|k_{\max} - k_{\min}|/s$ fonction du nombre n de déterminations de k et erreurs type I et II admises (égal à 3,4 pour 3 déterminations avec erreurs de 5 et 20%).

L'estimation de s pour chaque essai résulte de l'application:

$$s = s_i \bar{k}$$

où:

s_i - écart relatif prefixé pour les déterminations de k correspondant à une même perméabilité (adimensionnel, compris entre 0,17 et 0,30 pour l'étude actuelle)

\bar{k} - moyenne des n déterminations de k

2 - Programme de calcul

AMBDA - valeur de λ

SIGMAI - valeur de s_i

XK(1), XK(2), XK(3) - déterminations de k suivant l'ordre d'accroissement des pressions des essais

: Données de sortie:

TEST 13 - ordre de l'ensemble de termes XK(I), XK(2), XK(3), analysés

N - quantité des termes XK(I), XK(2), XK(3)

RL - % de comportement linéaire

RA - % de comportement non linéaire

RT - % de comportement non linéaire avec les rapports "accroissement de débits/accroissement de pressions" toujours moins élevés

RP - % de comportement non linéaire avec les rapports "accroissements de débits/accroissements de pressions" toujours plus élevés

RI - % de comportement non linéaire irrégulier

: Suite du programme:

&JOB; FOF1;

&FORTRAN;

```

DIMENSION XK1(500),XK2(500),XK3(500)
KK=5
LL=3
NUMBER=0
WRITE(KK,1)
1 FORMAT(9X,11HOUTPUT DATA,///)
10 READ(LL,2) N
2 FORMAT(15)
IF(N.EQ.99999)STOP
20 READ(LL,3) AMBDA,SIGMAI
3 FORMAT(F10.4,F10.2)
30 READ(LL,4) (XK1(L),XK2(L),XK3(L),L=1,N)
4 FORMAT(3E10.2)
RL=0.0
RA=0.0
RT=0.0
RP=0.0
DO 90 L=1,N
IF(XK1(L).GE.XK2(L))GO TO 12
BIG=XK2(L)
SMALL=XK1(L)
GO TO 13
12 BIG=XK1(L)
SMALL=XK2(L)
13 IF(BIG.GE.XK3(L))GO TO 16
BIG=XK3(L)
GO TO 19
16 IF(SMALL.LE.XK3(L))GO TO 19
SMALL=XK3(L)

```

```

19 SIGMA=SIGMAI*(XK1(L)+XK2(L)+XK3(L))/3.0
IF((BIG-SMALL).GE.(AMBDA*SIGMA))GO TO 22
RL=RL+1.0
GO TO 90
22 RA=RA+1.0
IF(BIG.EQ.XK1(L).AND.SMALL.EQ.XK3(L).AND.BIG.NE.SMALL)RT=RT+1.0
IF(BIG.EQ.XK3(L).AND.SMALL.EQ.XK1(L).AND.BIG.NE.SMALL)RP=RP+1.0
90 CONTINUE
R=RL+RA
RL=100.0*RL/R
RA=100.0*RA/R
RT=100.0*RT/R
RP=100.0*RP/R
NUMBER=NUMBER+1
WRITE(KK,5)NUMBER,N
5 FORMAT(10X,5HTEST ,13,///10X,1HN,15)
WRITE(KK,6)RL,RA,RT,RP
6 FORMAT(2HRL,F7.2,2X,2HRA,F7.2,2X,2HRT,F7.2,2X,2HRP,F7.2,///)
GO TO 10
END

```

&RUN;

ANNEXE C : RÉSULTATS DES ESSAIS LUGEON UTILISÉS DANS L'ÉTUDE
STATISTIQUE DE LA PERMEABILITÉ DES MILIEUX ROCHEUX

1 - Résultats concernant l'estimation de l'écart type relatif des déterminations de K

: Données relatives aux forages:

Série des mesures	Date	Forage	Ø	Prof. des essais
Première	5/9/69	G II 10	NX	75,41 a 79,46
Deuxième	10/9/69	G I 3	NX	27,60 a 30,60

Etude du Guandu, Rio de Janeiro, Brésil

: Résultats

H _m (m)	Q (l/min)	
	Prem. Série	Deux. Série
10	0,2	3,2
10	0,2	3,9
10	0,1	3,6
10	0,2	3,3
10	0,1	3,4
10	0,2	3,2
30	0,7	7,4
30	0,8	6,7
30	0,7	6,7
30	0,7	6,6
30	0,6	6,4
30	0,7	6,9
50	1,0	11,8
50	1,0	11,9
50	1,1	11,7
50	1,1	11,1
50	1,2	11,7
50	1,1	11,4

2 - Résultats concernant les 19 aménagements étudiés: Symboles et conventions

: Pour chaque aménagement:

B. : Nom du Barrage

E. : État de l'Union

L. : Lieu de l'Aménagement

R. : Nom de la Rivière

C. : Client

E. : Entrepreneur des Sondages

A. : Année

: Pour chaque sondage:

F. : Designation du Sondage

XYZ: Coordonnées du Sondage (en m)

Ø : Diamètre du Sondage

PT : Profondeur Totale du Sondage (en m)

EC : Épaisseur de la Couverture (en m)

NA : Profondeur du Niveau Phréatique (en m)

: Pour chaque essai Lugeon:

P : Profondeur Moyenne de l'Essai (en m)

ER : Espèce Rocheuse

R : Pourcentage de Recupération (en %)

H : Pression Totale de l'Essai (en m)

K : Coefficient de Perméabilité (en m/s)

: Suite des résultats:

B. RAFAEL

E. SANTA CATARINA

L. VALE DO RIO ITAJAI

R. ITAJAI DO NORTE

C. D.N.O.S.

E. SONDOTÉCNICA

A. 1961

F	R1		
XYZ	0.0	-123.0	31.3
Ø	AX		
PT	30.30		
EC	19.10		
NA	15.85		

P	ER	R	H	K
22.10	HORNBLLENDE-GRANITE	10.	65.8	0.36E-06
24.10	" "	10.	65.8	0.18E-06
27.10	" "	10.	65.8	0.18E-06
28.40	" "	10.	65.8	0.15E-06

F	R2		
XYZ	0.0	-43,0	13.7
Ø	AX		
PT	13.90		
EC	3.65		
NA	5.00		

P	ER	R	H	K
4.70	HORNBLLENDE-GRANITE	70.	54.7	0.42E-06
7.70	" "	98.	55.0	0.52E-06
10.70	" "	94.	55.0	0.23E-06
13.70	" "	94.	55.0	0.20E-06

F R3
 XYZ 0.0 121.9 13.3
 Ø AX
 PT 20.70
 EC 9.25
 NA 8.50

P	ER	R	H	K
10.50	HORNBLLENDE-GRANITE	10.	58.5	0.50E-07
13.50	" "	10.	58.5	0.65E-07
16.50	" "	10.	58.5	0.67E-07
19.50	" "	10.	58.5	0.50E-07

F R4
 XYZ 0.0 166.9 30.6
 Ø AX
 PT 29.20
 EC 17.90
 NA -

P	ER	R	H	K
18.50	HORNBLLENDE-GRANITE	84.	68.5	0.42E-05
21.50	PEGMATITE	100.	71.5	0.50E-07
24.50	" "	100.	74.5	0.72E-07
27.50	" "	100.	77.5	0.10E-06

F R5
 XYZ 33.0 -123.0 19.8
 Ø AX
 PT 28.10
 EC 17.60
 NA 11.80

P	ER	R	H	K
19.50	HORNBLLENDE-GRANITE	92.	61.8	0.76E-07
22.50	" "	100.	61.8	0.11E-05
25.50	BIOTITE-GRANITE	100.	61.8	0.75E-07
27.50	" "	100.	61.8	0.50E-07

F R6
 XYZ 58.0 -50.0 27.8
 Ø AX
 PT 16.10
 EC 5.70
 NA -

P	ER	R	H	K
7.70	HORNBLLENDE-GRANITE	96.	57.7	0.18E-05
10.70	" "	100.	60.7	0.15E-05
13.70	" "	100.	63.7	0.70E-07
15.70	" "	100.	65.7	0.50E-07

F R7
 XYZ 0.0 -83.0 22.1
 Ø AX
 PT 24.25
 EC 14.00
 NA 7.80

P	ER	R	H	K
15.50	HORNBLLENDE-GRANITE	100.	57.8	0.73E-07
18.50	" "	99.	57.8	0.50E-07
21.50	" "	100.	57.8	0.56E-07
23.60	" "	100.	57.8	0.10E-06

F R8
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 11.00
 EC 0.15
 NA 0.50

P	ER	R	H	K
2.20	HORNBLLENDE-GRANITE	91.	50.5	0.92E-07
5.20	" "	100.	50.5	0.18E-06
8.20	" "	100.	50.5	0.15E-06
10.40	" "	98.	50.5	0.50E-07

F R9
 XYZ 0.0 66.0 1.8
 Ø AX
 PT 25.00
 EC -
 NA 0.80

P	ER	R	H	K
3.50	HORNBLLENDE-GRANITE	60.	50.8	0.65E-07
6.50	" "	65.	50.8	0.54E-07
9.50	" "	63.	50.8	0.50E-07
12.50	" "	82.	50.8	0.50E-07
15.50	" "	60.	50.8	0.71E-07
18.50	" "	85.	50.8	0.10E-06
21.50	" "	60	50.8	0.95E-07
23.90	" "	50.	50.8	0.91E-07

B. MUNIN
 E. MARANHÃO
 L. CACHOEIRA
 R. MUNIN
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1966

F R3
 XYZ 0.0 228.0 1.7
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 7.42
 NA 3.85

P	ER	R	H	K
1.40	GRANITE	95.	10.8	0.39E-06
3.50	"	100.	10.8	0.51E-06
5.60	"	100.	10.8	0.14E-06
7.70	"	90	10.8	0.52E-05
9.80	"	90	10.8	0.16E-05
11.90	"	95	10.8	0.30E-06
14.00	"	85.	10.8	0.38E-06
16.10	"	85.	10.8	0.73E-06

F R4
 XYZ 0.0 225.0 2.2
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 7.70
 NA 3.22

P	ER	R	H	K
1.05	GRANITE	85.	10.3	0.59E-06
3.15	"	95.	10.3	0.61E-06
5.25	"	90.	10.3	0.54E-06
7.35	"	100.	10.3	0.37E-06
9.45	"	100.	10.3	0.49E-06
11.55	"	95.	10.3	0.32E-06
13.65	"	95.	10.3	0.37E-06
15.75	"	82.	10.3	0.90E-06

F R5
 XYZ 0.0 162.0 1.3
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 0.70
 NA -

P	ER	R	H	K
5.95	GRANITE	75.	15.9	0.14E-05
8.05	"	77.	18.0	0.54E-06
10.15	"	78.	20.1	0.18E-06
12.25	"	85.	22.2	0.21E-06
14.35	"	80.	24.2	0.18E-06
16.45	"	85.	26.2	0.54E-06
18.55	"	85.	28.5	0.28E-06
20.65	"	84.	30.6	0.24E-06
22.75	GRANITE-GNEISS	100.	32.7	0.42E-06

F R6
 XYZ 0.0 158.0 0.4
 Ø XRT
 PT 19.00
 EC -
 NA 1.68

P	ER	R	H	K
1.05	GRANITE	85.	8.7	0.27E-06
3.15	"	90.	8.7	0.15E-06
5.25	"	90.	8.7	0.56E-06
7.35	"	90.	8.7	0.29E-06
9.45	"	85.	8.7	0.33E-06
11.55	"	90.	8.7	0.89E-06
13.65	"	90.	8.7	0.89E-06
15.75	"	80.	8.7	0.33E-06
17.85	"	82.	8.7	0.38E-05

F R7
 XYZ 0.0 3.0 0.5
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 0.70
 NA 0.95

P	ER	R	H	K
1.05	GRANITE	95.	7.8	0.22E-06
3.15	"	98.	7.8	0.19E-06
5.25	"	95.	7.8	0.23E-06
7.35	"	99.	7.8	0.12E-06
9.45	"	99.	7.8	0.16E-06
11.55	"	85.	7.8	0.14E-06
13.65	"	85.	7.8	0.13E-06
15.75	"	95.	7.8	0.21E-06
17.85	"	97.	7.8	0.37E-06
19.95	"	97.	7.8	0.24E-06
21.05	"	97.	7.8	0.33E-06

F R8
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 7.35
 NA 1.90

P	ER	R	H	K
7.35	GRANITE	85.	8.9	0.26E-05
9.45	"	100.	8.9	0.89E-06
11.55	"	90.	8.9	0.15E-05
13.65	"	85.	8.9	0.18E-05
15.75	"	90.	8.9	0.12E-05
17.85	"	70.	8.9	0.11E-05
19.95	"	100.	8.9	0.47E-06
21.05	"	100.	8.9	0.38E-06

F R9
 XYZ 0.0 -100.0 5.2
 Ø XRT
 PT 24.50
 EC 3.50
 NA 9.10

P	ER	R	H	K
1.05	GRANITE	100.	16.5	0.63E-06
3.15	"	90.	19.5	0.38E-06
5.25	"	90.	23.0	0.32E-06
7.35	"	95.	23.0	0.36E-06
9.45	"	90.	23.0	0.24E-06
11.55	"	95.	23.0	0.24E-06
13.65	"	90.	23.0	0.30E-06
15.75	"	90.	23.0	0.27E-06
17.85	"	95.	23.0	0.37E-06
19.95	"	100.	23.0	0.23E-06

F R10
 XYZ 0.0 -202.0 5.6
 Ø XRT
 PT 30.00
 EC 8.00
 NA 15.00

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	85.	19.5	0.21E-06
4.50	"	86.	22.5	0.15E-06
7.50	"	90.	25.0	0.20E-06
10.50	"	95.	25.0	0.15E-06
13.50	"	100.	25.0	0.24E-06
16.50	"	95.	25.0	0.12E-06
19.50	"	95.	25.0	0.25E-06

F R11
 XYZ 0.0 -302.0 5.6
 Ø XRT
 PT 30.00
 EC 5.00
 NA 11.00

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	90.	16.5	0.12E-06
4.50	"	95.	19.5	0.71E-07
7.50	"	95.	21.0	0.10E-06
10.50	"	95.	21.0	0.99E-07
13.50	"	96.	21.0	0.85E-07
16.50	"	96.	21.0	0.98E-07
19.50	"	96.	21.0	0.80E-07
22.50	"	90.	21.0	0.10E-06

C.12

F R12
 XYZ 0.0 401.0 7.3
 Ø XRT
 PT 30.00
 EC 21.00
 NA 9.60

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	20.	19.6	0.77E-07
4.50	"	5.	19.6	0.66E-07
7.50	"	2.	19.6	0.52E-07

F R13
 XYZ 0.0 502.0 10.0
 Ø XRT
 PT 30.00
 EC 10.80
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	95.	22.5	0.65E-06
4.50	"	20.	25.5	0.16E-05
8.50	"	50.	29.5	0.49E-06
17.50	"	40.	38.5	0.45E-06

F R14
 XYZ 0.0 602.0 19.6
 Ø XRT
 PT 30.00
 EC 18.00
 NA 5.00

C.13

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	20.	15.0	0.95E-05
4.50	"	70.	15.0	0.95E-06
7.50	"	50.	15.0	0.11E-05
10.50	"	90.	15.0	0.25E-07

B. S. PAULO DO POTENGI
 E. RIO GRANDE DO NORTE
 L. SÃO PAULO DO POTENGI
 R. RIO POTENGI
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1963

F R1
 XYZ 107.0 133.0 6.3
 Ø AX
 PT 21.50
 EC 1,50
 NA 6.50

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	85.	13.0	0.13E-06
4.50	"	90.	16.0	0.14E-06
7.50	"	85.	16.5	0.19E-06
10.50	"	95.	16.5	0.41E-06
13.50	"	85.	16.5	0.19E-06
16.50	"	90.	16.5	0.15E-06
18.50	"	90.	16.5	0.21E-06

F R3
 XYZ 112.0 - 144.0 8.6
 Ø AX
 PT 22.40
 EC 2.40
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	90.	14.0	0.86E-07
4.50	"	95.	17.0	0.80E-07
7.50	"	100.	20.0	0.50E-08
10.50	"	95.	23.0	0.80E-05
13.50	"	100.	26.0	0.21E-06
16.50	"	100.	29.0	0.13E-06
18.50	"	100.	31.0	0.86E-07

F R7
 XYZ 50.0 202.0 1.6
 Ø AX
 PT 22.00
 EC 1.50
 NA 17.50

P	ER	R	H	K
1.50	GRANITE	80.	13.0	0.28E-06
4.50	"	90.	16.0	0.21E-06
7.50	"	60.	19.0	0.17E-06
10.50	"	35.	22.0	0.54E-06
13.50	"	50.	25.0	0.19E-06
16.50	"	50.	28.0	0.24E-06
19.00	"	70.	27.5	0.19E-06

F R8
 XYZ 55.0 62.0 1.3
 Ø AX
 PT 42.00
 EC 8.60
 NA 1.60

P	ER	R	H	K
2.00	GNEISS-GRANITISE	30.	21.6	0.95E-06
5.00	" "	60.	21.6	0.14E-06
8.00	" "	90.	21.6	0.43E-07
11.00	" "	90.	21.6	0.39E-06
14.00	" "	80.	21.6	0.50E-08
20.00	" "	50.	21.6	0.90E-06
26.00	" "	85.	21.6	0.64E-06
29.00	" "	90.	21.6	0.13E-06

F R9
 XYZ 60.0 -75.0 12.3
 Ø AX
 PT 43.00
 EC 1.40
 NA 10.50

P	ER	R	H	K
2.00	GNEISS-GRANITISE	100.	13.5	0.11E-06
5.00	"	95.	16.5	0.97E-06
8.00	"	95.	19.5	0.23E-05
11.00	"	85.	20.5	0.40E-05
14.00	"	85.	20.5	0.41E-06
17.00	"	50.	20.5	0.75E-06
20.00	GNEISS-GRANITISE	45.	20.5	0.24E-06
23.00	" "	82.	20.5	0.50E-08
26.00	" "	50.	20.5	0.43E-06

29.00	GNEISS-GRANITISE	95.	20.5	0.30E-06
32.00	" "	80.	20.5	0.23E-05
35.00	" "	30.	20.5	0.28E-05
38.00	" "	95.	20.5	0.45E-06

F	R10			
XYZ	65.0	-215.0	12.2	
Ø	AX			
PT	20.00			
EC	4.50			
NA	-			

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	60.	16.0	0.11E-05
4.50	" "	70.	19.0	0.30E-06
7.50	" "	70.	22.0	0.27E-05
10.50	" "	70.	25.0	0.24E-06
13.50	" "	70.	28.0	0.12E-05

F	R14			
XYZ	0.0	137.0	8.0	
Ø	AX			
PT	29.00			
EC	9.00			
NA	11.60			

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	20.	20.6	0.26E-06
4.50	" "	65.	21.6	0.17E-06
7.50	" "	55.	21.6	0.12E-06
10.50	" "	70.	21.6	0.13E-06
13.50	" "	60.	21.6	0.11E-06
16.50	" "	50.	21.6	0.17E-06
18.50	" "	50.	21.6	0.26E-06

F	R15			
XYZ	0.0	0.0	0.0	
Ø	AX			
PT	21.00			
EC	5.00			
NA	0.10			

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	50.	10.1	0.30E-05
4.50	" "	70.	10.1	0.50E-08
7.50	" "	90.	10.1	0.21E-05
10.50	" "	60.	10.1	0.26E-05
13.50	" "	80.	10.1	0.16E-05

F	R16			
XYZ	0.0	-147.0	7.0	
Ø	AX			
PT	29.00			
EC	2.50			
NA	5.20			

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	20.	14.0	0.95E-05
4.50	" "	30.	15.5	0.12E-04
7.50	" "	80.	15.5	0.56E-06
10.50	" "	85.	15.5	0.95E-06
13.50	" "	60.	15.5	0.10E-05
16.50	" "	70.	15.5	0.19E-06
19.50	" "	82.	15.5	0.43E-06
22.50	" "	95.	15.5	0.13E-06
25.00	" "	100.	15.5	0.86E-07

F	R17			
XYZ	104.0	270.0	13.7	
Ø	AX			
PT	21.20			
EC	1.20			
NA	-			

P		R	H	K
1.50	GRANITE	95.	12.5	0.86E-07
4.50	"	90.	16.0	0.67E-06
7.50	"	90.	19.0	0.24E-06
10.50	"	90.	22.0	0.17E-06
13.50	"	95.	25.0	0.15E-06
16.50	"	95.	28.0	0.17E-06
18.50	"	90.	30.0	0.64E-06

F	R18			
XYZ	155.0	207.0	3.2	
∅	AX			
PT	24.00			
EC	2.20			
NA	-			

P		ER	R	H	K
4.50	GRANITE		100.	13.6	0.64E-07
7.50	"		90.	13.6	0.15E-06
10.50	"		80.	13.6	0.64E-07
13.50	"		95.	13.6	0.13E-06
16.50	"		95.	13.6	0.64E-07
19.50	"		95.	13.6	0.26E-05

F	R19			
XYZ	160.0	66.0	0.4	
∅	AX			
PT	20.00			
EC	8.75			
NA	-			

P		ER	R	H	K
1.50	GRANITE		100.	20.5	0.32E-05
4.50	"		90.	23.5	0.18E-06
7.50	"		90.	26.5	0.18E-06
10.00	"		90.	28.5	0.15E-06

F	R20			
XYZ	163.0	- 70.0	4.2	
∅	AX			
PT	24.00			
EC	3.70			
NA	4.50			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE		40.	14.5	0.40E-05
4.50	"		50.	14.5	0.50E-08
7.50	"		95.	14.5	0.64E-07
10.50	"		80.	14.5	0.17E-06
13.50	"		85.	14.5	0.22E-06
15.50	"		90.	14.5	0.17E-06
18.50	"		95.	14.5	0.13E-06

F	R21			
XYZ	167.0	- 215.0	13.4	
∅	AX			
PT	22.00			
EC	10.00			
NA	-			

P		ER	R	H	K
4.50	GNEISS-GRANITISE		45.	24.5	0.25E-05
7.50	"		78.	27.5	0.16E-05
10.50	"		60.	30.5	0.28E-05

F	R23			
XYZ	20.0	300.0	20.1	
∅	AX			
PT	37.00			
EC	3.00			
NA	-			

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	90.	14.5	0.15E-06
4.50	" "	70.	17.5	0.56E-07
7.50	" "	30.	20.5	0.26E-06
10.50	" "	60.	23.5	0.34E-06
13.50	" "	50.	26.5	0.21E-06
16.50	" "	80.	29.5	0.73E-06
19.50	" "	85.	32.5	0.60E-06
22.50	" "	50.	35.5	0.21E-06
25.50	" "	90.	38.5	0.28E-06
28.50	" "	90.	41.5	0.86E-07
31.50	" "	95.	44.5	0.13E-06

B. ALTO GARCIA
 E. SANTA CATARINA
 L. VILA ANGELINA
 R. RIO GARCIA
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTÉCNICA
 A. 1964

F	RB3	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		-39.5	6.5	2.3		
		EX				
		15.40				
		3.28				
		-				

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS-GRANITISE	85.	15.0	0.50E-08
4.50	"	90.	18.0	0.50E-08
7.40	"	50.	21.0	0.85E-05
10.50	"	50.	24.0	0.26E-05

F	RB4	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		-29.5	18.5	4.8		
		EX				
		-				
		-				
		-				

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	100.	12.0	0.41E-06

F	RB6	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		-20.0	3.5	1.9		
		EX				
		9.28				
		5.40				
		-				

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	30.	12.5	0.25E-06
4.50	"	30.	16.0	0.32E-05
7.50	"	85.	18.0	0.50E-08

F	RB7	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		-29.0	-15.5	1.5		
		EX				
		14.35				
		5.55				
		-				

P	ER	R	H	K
7.00	GNEISS	80.	23.0	0.14E-05

F	RB8			
XYZ	-10.0	-0.5	1.6	
Ø	EX			
PT	20.00			
EC	0.50			
NA	-			

P		ER	R	H	K
3.00	GNEISS		90.	14.5	0.85E-05
6.00	"		60.	17.5	0.50E-08
9.00	"		85.	20.5	0.50E-08
12.00	"		85.	23.5	0.22E-04

F	RB9			
XYZ	0.0	0.0	0.0	
Ø	EX			
PT	20.85			
EC	-			
NA	-			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		82.	2.0	0.49E-05
4.50	"		82.	5.0	0.49E-05
7.50	"		80.	8.0	0.22E-04
10.50	"		100.	21.0	0.14E-05
13.50	"		90.	21.0	0.50E-08
16.50	"		90.	21.0	0.50E-08

F	RB11			
XYZ	-10.5	16.5	7.5	
Ø	EX			
PT	15.00			
EC	2.00			
NA	3.50			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		90.	13.5	0.61E-05
4.50	"		40.	13.5	0.50E-08
7.50	"		90.	13.5	0.50E-08
10.50	"		90.	13.5	0.50E-08

F	RB12			
XYZ	-9.0	-19.5	5.0	
Ø	EX			
PT	-			
EC	-			
NA	3.25			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		95.	11.5	0.13E-05
4.50	"		90.	13.2	0.96E-06
7.50	"		90.	13.2	0.22E-05
10.50	"		90.	13.2	0.50E-08
13.50	"		90.	13.2	0.50E-08

F	RB14			
XYZ	0.0	34.0	20.3	
Ø	EX			
PT	-			
EC	-			
NA	18.00			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		85.	18.0	0.59E-06
4.50	"		90.	18.0	0.51E-06

F	RB15			
XYZ	0.0	19.0	14.4	
Ø	EX			
PT	15.67			
EC	10.40			
NA	10.05			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		100.	20.0	0.50E-08
4.50	"		100.	20.0	0.35E-05

F	RB16			
XYZ	0.0	-19.0	4.4	
Ø	EX			
PT	15.10			
EC	0.50			
NA	3.15			

P		ER	R	H	K
1.50	GNEISS		100.	11.5	0.50E-08
4.50	"		80.	13.1	0.11E-04
7.50	"		85.	13.1	0.85E-05
10.50	"		85.	13.1	0.50E-08
13.50	"		90.	13.1	0.50E-08

F	RB17			
XYZ	0.0	-38.5	12.7	
Ø	EX			
PT	-			
EC	-			
NA	-			

P		ER	R	H	K
2.50	GNEISS		90.	19.0	0.24E-05
4.50	"		90.	20.7	0.38E-06

B.	OESTE
E.	SANTA CATARINA
L.	VALE DO RIO ITAJAI
R.	ITAJAI-OESTE
C.	D.N.O.S.
E.	SONDOTECNICA
A.	1961

F	R1			
XYZ	0.0	-260.0	26.6	
Ø	AX			
PT	35.36			
EC	17.20			
NA	7.10			

P		ER	R	H	K
19.30	BASALT		90.	57.1	0.24E-06
22.30	"		100.	57.1	0.50E-07
25.30	"		100.	57.1	0.50E-07
28.30	"		99.	57.1	0.23E-06
31.30	"		98.	57.1	0.50E-07
34.30	"		100.	57.1	0.91E-07

f	R2			
XYZ	0.0	-220.0	20.5	
Ø	AX			
PT	30.00			
EC	10.10			
NA	8.90			

P	ER	R	H	K
11.50	BASALTE	95.	58.9	0.50E-08
14.50	"	100.	58.9	0.50E-08
17.50	"	95.	58.9	0.50E-08
20.50	"	98.	58.9	0.50E-08
23.50	GRES PELITIQUE	98.	58.9	0.50E-08
26.50	"	94.	58.9	0.50E-08
28.65	"	98.	58.9	0.50E-08

F	R3
XYZ	0.0 -180.0 14.7
Ø	AX
PT	25.34
EC	3.80
NA	3.67

P	ER	R	H	K
5.30	BASALTE	85.	53.6	0.50E-08
8.30	"	95.	53.6	0.50E-08
11.30	"	98.	53.6	0.50E-08
14.30	"	98.	53.6	0.50E-08
17.30	"	100.	53.6	0.50E-08
20.30	"	99.	53.6	0.50E-08
23.30	"	100.	53.6	0.50E-08

F	R4
XYZ	0.0 -140.0 13.4
Ø	AX
PT	25.23
EC	1.70
NA	4.04

P	ER	R	H	K
3.20	BASALTE	98.	53.2	0.50E-08
6.20	"	98.	54.0	0.50E-08
9.20	"	100.	54.0	0.50E-08
12.20	"	98.	54.0	0.50E-08
15.20	"	98.	54.0	0.50E-08
18.20	"	98.	54.0	0.50E-08
21.20	"	98.	54.0	0.50E-08
23.55	"	100.	54.0	0.50E-08

F	R5
XYZ	0.0 -100.0 9.8
Ø	AX
PT	24.65
EC	2.00
NA	-

P	ER	R	H	K
8.00	BASALTE	100.	58.0	0.83E-07
11.00	"	97.	61.0	0.58E-07
14.00	"	98.	64.0	0.70E-07
17.00	"	100.	67.0	0.65E-07
20.00	"	100.	70.0	0.68E-07
23.00	"	100.	73.0	0.50E-07

F	R6
XYZ	0.0 -60.0 11.5
Ø	AX
PT	24.50
EC	9.00
NA	2.97

P	ER	R	H	K
13.70	BASALTE	98.	52.9	0.50E-07
16.70	"	98.	52.9	0.93E-07
19.70	"	99.	52.9	0.96E-07
21.70	"	100.	52.9	0.50E-07

F	R7	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		0.0	-20.0	3.7		
	AX					
	20.05					
	1.85					
	3.37					

P	ER	R	H	K
3.90	BASALTE	99.	53.3	0.50E-05
6.90	"	100.	53.3	0.50E-07
9.90	"	100.	53.3	0.58E-07
12.90	"	100.	53.3	0.50E-08
15.90	"	100.	53.3	0.60E-07
18.90	"	100.	53.3	0.50E-07

F	R8	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		0.0	0.0	0.0		
	AX					
	40.90					
	1.90					
	0.70					

P	ER	R	H	K
3.50	BASALTE	100.	50.7	0.50E-08
6.50	"	100.	50.7	0.62E-07
9.50	"	100.	50.7	0.89E-07
12.50	"	100.	50.7	0.89E-07

15.50	BASALTE	100.	50.7	0.50E-07
18.50	"	100.	50.7	0.82E-07
21.50	"	100.	50.7	0.50E-07
24.50	"	100.	50.7	0.50E-07
27.50	"	100.	50.7	0.86E-07
30.60	"	100.	50.7	0.50E-07
33.50	"	100.	50.7	0.64E-07
36.50	GRÈS PÉLITIQUE	100.	50.7	0.50E-07
39.50	"	100.	50.7	0.70E-07

F	R9	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		0.0	20.0	5.6		
	AX					
	20.50					
	5.50					
	3.45					

P	ER	R	H	K
7.00	BASALTE	100.	53.4	0.50E-08
10.00	"	100.	53.4	0.50E-08
13.00	"	100.	53.4	0.50E-08
16.00	"	100.	53.4	0.50E-08
19.00	"	100.	53.4	0.50E-08

F	R10	XYZ	Ø	PT	EC	NA
		0.0	60.0	12.1		
	AX					
	20.10					
	11.00					
	7.70					

P	ER	R	H	K
12.50	BASALTE	100.	57.7	0.55E-07
15.50	"	100.	57.7	0.87E-07
18.50	"	100.	57.7	0.70E-07

F	R11
XYZ	0.0 100.0 9.3
Ø	AX
PT	25.24
EC	7.68
NA	1.10

P	ER	R	H	K
9.70	BASALTE	100.	51.1	0.56E-07
12.70	"	100.	51.1	0.97E-07
15.70	"	100.	51.1	0.50E-07
18.70	"	100.	51.1	0.50E-08
21.70	"	100.	51.1	0.50E-08
24.70	"	100.	51.1	0.50E-08

F	R12
XYZ	0.0 140.0 16.1
Ø	AX
PT	25.20
EC	11.50
NA	7.25

P	ER	R	H	K
13.00	GRES	100.	57.2	0.60E-06
16.00	"	100.	57.2	0.86E-07
19.00	"	100.	57.2	0.70E-07
22.00	BASALTE	100.	57.2	0.71E-07
25.00	"	100.	57.2	0.50E-08

F	R13
XYZ	0.0 180.0 28.6
Ø	AX
PT	35.00
EC	16.50
NA	12.45

P	ER	R	H	K
18.00	GRES	96.	62.4	0.13E-05
21.00	"	84.	62.4	0.55E-06
24.00	"	92.	62.4	0.50E-08
27.00	"	100.	62.4	0.50E-08
30.00	BASALTE	100.	62.4	0.50E-08
33.00	"	100.	62.4	0.50E-08

F	R14
XYZ	79.0 -314.0 27.2
Ø	AX
PT	35.20
EC	19.00
NA	2.25

P	ER	R	H	K
20.50	BASALTE	98.	22.2	0.40E-05
23.50	"	100.	22.2	0.37E-05
26.50	"	100.	52.2	0.22E-06
29.50	"	100.	52.2	0.55E-07
32.50	"	100.	52.2	0.50E-07

F	R15
XYZ	87.0 -264.0 23.6
Ø	AX
PT	35.10
EC	17.30
NA	4.60

P		ER	R	H	K
15.50	BASALTE		98.	54.6	0.17E-05
18.50	"		100.	54.6	0.21E-06
21.50	"		100.	54.6	0.85E-07
24.50	"		100.	54.6	0.50E-07
27.50	"		100.	54.6	0.86E-07
30.50	"		100.	54.6	0.88E-07
33.50	"		100.	54.6	0.50E-07

F	R16			
XYZ	96.0	-214.0	22.0	
Ø	AX			
PT	25.90			
EC	11.10			
NA	-			

P		ER	R	H	K
14.00	BASALTE		98.	64.0	0.16E-06
17.00	"		92.	67.0	0.83E-07
20.00	"		98.	70.0	0.50E-07
23.00	"		100.	73.0	0.50E-07

F	R17			
XYZ	104.0	-168.0	16.0	
Ø	AX			
PT	25.00			
EC	2.80			
NA	4.20			

P		ER	R	H	K
9.00	BASALTE		98.	54.2	0.50E-07
12.00	"		100.	54.2	0.50E-07
15.00	"		98.	54.2	0.52E-07
18.00	"		100.	54.2	0.72E-07
21.00	"		100.	54.2	0.79E-07

F	R18			
XYZ	113.0	-117.0	12.7	
Ø	AX			
PT	25.00			
EC	0.45			
NA	2.26			

P		ER	R	H	K
2.80	BASALTE		80.	52.2	0.50E-08
5.80	"		100.	52.2	0.50E-08
8.80	"		96.	52.2	0.50E-08
11.80	"		96.	52.2	0.50E-08
14.80	"		100.	52.2	0.50E-08
17.80	"		96.	52.2	0.50E-08
20.80	"		96.	52.2	0.50E-08
23.80	"		95.	52.2	0.50E-08

F	R19			
XYZ	103.0	-79.0	15.4	
Ø	AX			
PT	24.70			
EC	4.00			
NA	-			

P		ER	R	H	K
6.20	BASALTE		100.	56.2	0.90E-07
9.20	"		100.	59.2	0.98E-07
12.20	"		100.	62.2	0.52E-07
15.20	"		95.	65.2	0.88E-07
18.20	"		96.	68.2	0.68E-07
21.20	"		96.	71.2	0.99E-07

F	R20			
XYZ	93.0	-41.0	11.6	
Ø	AX			
PT	24.45			
EC	6.30			
NA	3.36			

P		ER	R	H	K
17.00	BASALTE		97.	53.3	0.25E-06
20.00	"		99.	53.3	0.23E-06
23.00	"		76.	53.3	0.50E-07

F	R21			
XYZ	83.0	-2.0	8.8	
∅	AX			
PT	25.60			
EC	3.50			
NA	2.25			

P		ER	R	H	K
15.00	BASALTE		80.	52.2	0.92E-07
18.00	"		56.	52.2	0.84E-07
21.00	GRÈS PÉLITIQUE		45.	52.2	0.66E-06
24.00	"		68.	52.2	0.72E-07

F	R22A			
XYZ	76.0	24.0	3.8	
∅	AX			
PT	24.90			
EC	2.60			
NA	0.50			

P		ER	R	H	K
4.60	BASALTE		90.	50.5	0.20E-05
7.60	GRÈS PÉLITIQUE		88.	50.5	0.25E-05
10.60	"		80.	50.5	0.14E-05
13.60	BASALTE		90.	50.5	0.45E-06
16.60	GRÈS PÉLITIQUE+BASALTE		52.	50.5	0.27E-06
19.60	"		92.	50.5	0.23E-06
22.60	"		78.	50.5	0.16E-06

F	R22B			
XYZ	67.0	57.0	6.7	
∅	AX			
PT	25.05			
EC	5.65			
NA	2.40			

P		ER	R	H	K
7.50	BASALTE		60.	52.4	0.23E-05
10.50	"		98.	52.4	0.22E-06
13.50	"		90.	52.4	0.25E-06
16.50	GRÈS PÉLITIQUE		95.	52.4	0.65E-07
19.50	"		100.	52.4	0.50E-07
22.50	"		93.	52.4	0.50E-07

F	R23			
XYZ	63.0	75.0	11.5	
∅	AX			
PT	25.69			
EC	11.50			
NA	5.20			

P		ER	R	H	K
13.00	BASALTE		100.	52.4	0.44E-05
16.00	"		100.	52.4	0.50E-07
19.00	"		100.	52.4	0.50E-07
22.00	GRÈS PÉLITIQUE		98.	52.4	0.50E-07
25.00	"		100.	52.4	0.87E-07

F	R24			
XYZ	52.0	111.0	14.0	
∅	AX			
PT	25.10			
EC	4.20			
NA	-			

P		ER	R	H	K
6.50	BASALTE		96.	56.5	0.85E-07
9.50	"		96.	59.5	0.50E-07
12.50	"		100.	62.5	0.50E-07
15.50	"		92.	65.5	0.50E-07
18.50	"		100.	68.5	0.94E-07
21.50	"		96.	71.5	0.93E-07
23.70	GRÈS		100.	73.7	0.66E-07

F	R25		
XYZ	42.0	150.0	21.7
Ø	AX		
PT	35.05		
EC	12.00		
NA	-		

P		ER	R	H	K
14.00	BASALTE		100.	64.0	0.65E-07
17.00	"		100.	67.0	0.88E-07
20.00	"		100.	70.0	0.50E-07
23.00	"		100.	73.0	0.71E-07
26.00	"		100.	76.0	0.50E-07
29.00	"		100.	79.0	0.50E-07
32.00	"		100.	82.0	0.72E-07
34.00	"		98.	84.0	0.99E-07

F	R26		
XYZ	33.0	188.0	30.3
Ø	AX		
PT	34.95		
EC	17.80		
NA	11.70		

P		ER	R	H	K
22.00	GRÈS		96.	61.7	0.73E-07
25.00	"		100.	61.7	0.50E-07
28.00	"		100.	61.7	0.56E-07
31.00	BASALTE		100.	61.7	0.10E-06
34.00	"		100.	61.7	0.50E-07

F	R27		
XYZ	112.0	41.0	3.5
Ø	AX		
PT	25.10		
EC	2.50		
NA	-		

P		ER	R	H	K
4.60	GRÈS		96.	24.6	0.66E-05
7.60	"		72.	27.6	0.65E-05
10.60	"		92.	30.6	0.64E-05
13.60	"		68.	33.6	0.45E-05
16.60	BASALTE		65.	66.6	0.35E-06
19.60	"		80.	69.6	0.34E-06
22.60	GRÈS		92.	72.6	0.64E-06

F	R28		
XYZ	105.0	70.0	3.8
Ø	AX		
PT	23.50		
EC	4.25		
NA	0.10		

P		R	H	K
6.00	GRÈS	80.	50.1	0.30E-05
9.00	"	84.	50.1	0.37E-05
12.00	"	96.	50.1	0.21E-05
15.00	"	100.	50.1	0.32E-05
18.00	BASALTE	100.	50.1	0.22E-05
21.00	"	95.	50.1	0.27E-06

F R29
 XYZ 147.0 60.0 3.2
 Ø AX
 PT 25.45
 EC 4.05
 NA -

P	ER	R	H	K
8.60	GRÈS	76.	58.6	0.17E-05
11.60	"	60.	61.6	0.16E-05
14.60	BASALTE	88.	64.6	0.95E-06
17.60	"	70.	67.6	0.20E-06
20.60	GRÈS	50.	70.6	0.97E-06
23.60	"	100.	73.6	0.16E-06

F R30
 XYZ 140.0 91.0 3.4
 Ø AX
 PT 25.60
 EC 4.35
 NA 0.10

P	ER	R	H	K
6.00	GRÈS	70.	50.1	0.43E-05
9.00	"	90.	50.1	0.32E-05
12.00	"	52.	50.1	0.40E-05
15.00	BASALTE	100.	50.1	0.37E-05
18.00	GRÈS	92.	50.1	0.40E-05
21.00	BASALTE	100.	50.1	0.23E-06
24.00	GRÈS PÉLITIQUE	92.	50.1	0.20E-06

F R31
 XYZ -34.0 30.0 9.0
 Ø AX
 PT 25.65
 EC 8.70
 NA 3.50

P	ER	R	H	K
10.50	BASALTE	90.	53.5	0.32E-05
13.50	"	100.	53.5	0.50E-07
16.50	"	100.	53.5	0.72E-07
19.50	"	99.	53.5	0.10E-06
22.50	"	100.	53.5	0.50E-07

F R32
 XYZ -54.0 82.0 12.2
 Ø AX
 PT 30.70
 EC 10.80
 NA -

P	ER	R	H	K
12.50	BASALTE	94.	62.5	0.76E-07
15.50	"	94.	65.5	0.75E-07
18.50	"	100.	68.5	0.50E-07
21.50	"	96.	71.5	0.70E-07
24.50	"	100.	74.5	0.50E-07
27.50	"	100.	77.5	0.63E-07
30.50	"	100.	80.5	0.50E-07

F R33
 XYZ -81.0 152.0 29.4
 Ø AX
 PT 35.30
 EC 19.00
 NA 21.00

P	ER	R	H	K
21.50	GRÈS	62.	71.0	0.24E-05
24.50	"	92.	71.0	0.24E-06
27.50	BASALTE	92.	71.0	0.97E-06
30.50	"	100.	71.0	0.16E-06
33.50	"	100.	71.0	0.96E-07

B. ADUSTINA
 E. BAHIA
 L. PARIPIRANGA
 R. -
 C. DNOCS
 E. SONDOTECNICA
 A. 1965

F R1
 XYZ 165.0 525.0 14.6
 Ø AX
 PT 20.00
 EC -
 NA 4.50

P	ER	R	H	K
3.50		38.	14.0	0.45E-05
			34.0	0.23E-05
			54.0	0.35E-05
6.50	CONGLOMERAT	30.	14.5	0.42E-06
			34.5	0.62E-06
			54.5	0.70E-06
9.50	"	45.	14.5	0.51E-07
			34.5	0.50E-07
			54.5	0.77E-07
12.50	"	36.	14.5	0.50E-08
			34.5	0.50E-08
			54.5	0.50E-08
15.50	"	61.	14.5	0.50E-08
			34.5	0.50E-08
			54.5	0.50E-08
18.50	"	62.	14.5	0.50E-08
			34.5	0.50E-08
			54.5	0.50E-08

F R2
 XYZ 90.0 455.0 15.0
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 3.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.25	CONGLOMERAT	22.	15.0	0.48E-05
			35.0	0.22E-06
			55.0	0.37E-06
4.25	"	38.	18.0	0.72E-07
			38.0	0.74E-07
			58.0	0.64E-07
7.25	GRES	52.	21.0	0.64E-05
			41.0	0.59E-05
10.25	"	56.	24.0	0.50E-08
			44.0	0.50E-08
10.25	SILTITE	89.	27.0	0.50E-08
			47.0	0.50E-08

F R3
 XYZ 30.0 405.0 13.9
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 1.00
 NA 8.00

P	ER	R	H	K
1.50	GRES	21.	11.0	0.48E-05
			31.0	0.51E-05
4.50	"	31.	14.0	0.12E-04
			34.0	0.62E-05
7.50	"	76.	16.5	0.60E-05
			36.5	0.52E-05

10.50	SILTITE	38.	16.5	0.50E-07
			36.5	0.50E-07
			56.5	0.50E-07
13.50	"	96.	16.5	0.50E-08
			36.5	0.50E-08
			56.5	0.50E-08
16.50	"	93.	16.5	0.50E-08
			36.5	0.50E-08
			56.5	0.50E-08

F	R4			
XYZ	20.0	325.0	9.1	
Ø	AX			
PT	25.00			
EC	-			
NA	7.80			

P		R	H	K
1.50	CONGLOMÉRAT	37.	11.5	0.72E-06
			31.5	0.65E-05
			51.5	0.16E-05
4.50	"	21.	14.5	0.90E-06
			34.5	0.61E-06
			54.5	0.65E-06
7.50	SILTITE	35.	17.5	0.74E-06
			37.5	0.60E-06
			57.5	0.12E-05
10.50	"	78.	17.5	0.69E-06
			37.5	0.62E-06
			57.5	0.65E-06
13.50	"	64.	17.5	0.20E-05
			37.5	0.13E-05
			57.5	0.16E-05
16.50	"	76.	17.5	0.21E-06
			37.5	0.15E-06
			57.5	0.32E-06

19.50	SILTITE	63.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
22.50	"	81.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08

F	R5			
XYZ	20.0	225.0	8.3	
Ø	AX			
PT	25.00			
EC	5.00			
NA	-			

P		ER	R	H	K
7.50	CONGLOMÉRAT		24.	17.5	0.26E-05
				37.5	0.19E-05
				57.5	0.24E-05
10.50	"		41	20.5	0.28E-06
				40.5	0.23E-06
				60.5	0.44E-06
13.50	GRÈS + SILTITE		71.	23.5	0.18E-05
				43.5	0.16E-05
				63.5	0.17E-05
16.50	SILTITE + CONGLOMÉRAT		54.	26.5	0.50E-08
				46.5	0.50E-08
				66.5	0.50E-08
19.50	CONGLOMÉRAT		26.	29.5	0.50E-08
				49.5	0.50E-08
				69.5	0.50E-08
22.50	"		36.	32.5	0.50E-08
				52.5	0.50E-08
				72.5	0.50E-08

F	R6			
XYZ	20.0	125.0	7.8	
Ø	AX			
PT	40.00			
EC	4.00			
NA	7.50			

P	ER	R	H	K
1.50	SILTITE	39.	15.5	0.28E-05
			35.5	0.26E-05
4.50	"	42.	17.5	0.83E-05
7.50	"	55.	17.5	0.34E-05
			37.5	0.34E-05
			57.5	0.40E-05
10.50	SILTITE + CONGLOMÉRAT	29.	17.5	0.50E-07
			37.5	0.65E-07
			57.5	0.80E-06
13.50	CONGLOMÉRAT + SILTITE	51.	17.5	0.12E-05
			37.5	0.80E-06
			57.5	0.40E-06
16.50	"	33.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08
19.50	"	22.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08
22.50	"	36.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08
25.50	"	18.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08
28.50	"	16.	17.5	0.18E-06
			37.5	0.20E-06
			57.5	0.12E-06
31.50	"	19.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08
34.50	"	38.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.50E-08
			57.5	0.50E-08

F	R7		
XYZ	20.0	30.0	0.0
Ø	AX		
PT	40.00		
EC	6.00		
NA	2.00		

P	ER	R	H	K
1.50	GRÈS + SILTITE	21.	12.0	0.70E-06
	"		32.0	0.81E-06
			52.0	0.74E-06
4.50	"	29.	12.0	0.50E-07
			32.0	0.72E-07
			52.0	0.70E-07
7.50	CONGLOMÉRAT	22.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08
10.50	"	28.	12.0	0.81E-07
			32.0	0.92E-07
			52.0	0.74E-07
13.50	"	43.	12.0	0.18E-05
			32.0	0.80E-06
			52.0	0.80E-06
16.50	"	32.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08
19.50	"	44.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08
22.50	"	23.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08
25.50	"	39.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08

28.50	CONGLOMÉRAT	21.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08
31.50	"	24.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08

F R8
 XYZ 20.0 -70.0 13.9
 Ø AX
 PT 40.00
 EC -
 NA 10.20

P	ER	R	H	K
3.50	CONGLOMÉRAT	42.	13.5	0.50E-07
			33.5	0.50E-07
			53.5	0.50E-07
6.50	"	39.	16.5	0.50E-08
			36.5	0.50E-08
			56.5	0.50E-08
9.50	"	38.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
12.50	"	34.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
15.50	SILTITE	92.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
18.50	CONGLOMÉRAT	37.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
21.50	"	22.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08

24.50	CONGLOMÉRAT	36.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
27.50	"	39.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
30.50	"	38	19.5	0.24E-06
			39.5	0.19E-06
			59.5	0.12E-06
33.50	"	43.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08
36.50	CALCAIRE	29.	19.5	0.50E-08
			39.5	0.50E-08
			59.5	0.50E-08

B. SALTO DA DIVISA
 E. MINAS GERAIS
 L. SALTO DA DIVISA
 R.
 C. CEMIG
 E. SONDOTECNICA
 A. 1965

F R1
 XYZ -
 Ø AX
 PT 32.00
 EC 5.00
 NA 14.20

P	ER	R	H	K
10.50	GNEISS	70.	24.0	0.62E-06
13.50	"	98.	24.0	0.50E-07
16.50	"	95.	24.0	0.92E-07
19.50	"	90.	24.0	0.65E-07
22.50	"	100.	24.0	0.50E-07
25.50	"	100.	24.0	0.11E-06

F R2
 XYZ -
 Ø AX
 PT 10.50
 EC 1.50
 NA 1.50

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	85.	11.0	0.63E-07
4.50	"	95.	11.0	0.88E-07
7.50	"	100.	11.0	0.50E-07

F R3
 XYZ -
 Ø AX
 PT 14.00
 EC 2.00
 NA 7.55

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	98.	13.0	0.50E-07
4.50	"	100.	17.0	0.21E-06
7.50	"	95.	17.0	0.80E-07
10.50	"	98.	17.0	0.73E-07

F R4
 XYZ -
 Ø AX
 PT 24.00
 EC 10.45
 NA 15.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	25.	10.0	0.23E-04
4.50	"	75.	15.0	0.10E-04
7.50	"	100.	18.0	0.52E-05
10.50	"	100.	21.0	0.21E-06

F R5
 XYZ -
 Ø AX
 PT 18.00
 EC 3.00
 NA 3.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	70.	10.0	0.15E-06
4.50	"	65.	10.0	0.13E-06
7.50	"	50.	10.0	0.50E-07
10.50	"	68.	10.0	0.56E-07
13.50	"	70.	10.0	0.50E-07

F R6
 XYZ -
 Ø AX
 PT 40.00
 EC 4.00
 NA 5.20

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	90.	15.0	0.11E-06
4.50	"	94.	15.0	0.69E-07
7.50	"	100.	15.0	0.77E-07
10.50	"	92.	15.0	0.59E-07
13.50	"	100.	15.0	0.50E-07
16.50	"	92.	15.0	0.69E-07
19.50	"	100.	15.0	0.14E-06
22.50	"	90.	15.0	0.98E-07
25.50	"	86.	15.0	0.63E-07
28.50	"	90.	15.0	0.97E-07
31.50	"	95.	15.0	0.81E-07
34.50	"	100.	15.0	0.50E-07

F R7
 XYZ -
 Ø AX
 PT 66.00
 EC 3.00
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	100.	10.0	0.60E-06
4.50	"	85.	10.0	0.55E-06
7.50	"	92.	10.0	0.40E-06
10.50	"	84.	10.0	0.51E-07
13.50	"	94.	10.0	0.17E-06
16.50	"	96.	10.0	0.54E-07
19.50	"	100.	10.0	0.99E-07
22.50	"	95.	10.0	0.50E-07
25.50	"	94.	10.0	0.50E-07
28.50	"	92.	10.0	0.75E-07
31.50	"	95.	10.0	0.50E-07
34.50	"	90.	10.0	0.82E-07
37.50	"	90.	10.0	0.78E-07
40.50	"	90.	10.0	0.86E-07
43.50	"	90.	10.0	0.50E-07
46.50	"	100.	10.0	0.50E-07
49.50	"	90.	10.0	0.56E-07
52.50	"	100.	10.0	0.80E-07
55.50	"	100.	10.0	0.68E-07
58.50	"	100.	10.0	0.97E-07
61.50	"	100.	10.0	0.85E-07

F R8
 XYZ -
 Ø AX
 PT 26.00
 EC 5.00
 NA 2.80

P	ER	R	H	K
4.50	GNEISS	100.	13.0	0.90E--06
7.50	"	100.	13.0	0.41E-06
10.50	"	100.	13.0	0.17E-06
13.50	"	100.	13.0	0.66E-07
16.50	"	94.	13.0	0.53E-07
19.50	"	92.	13.0	0.17E-06

F R9
 XYZ -
 Ø AX
 PT 20.50
 EC 11.50
 NA 3.80

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	84.	13.0	0.41E-05
4.50	"	92.	13.0	0.11E-05
7.50	"	100.	13.0	0.32E-06

F R10
 XYZ -
 Ø AX
 PT 60.00
 EC 6.00
 NA 6.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS		16.0	0.25E-06
4.50	"	45.	16.0	0.14E-06
7.50	"	94.	16.0	0.26E-07
10.50	"	96.	16.0	0.40E-07
13.50	"	96.	16.0	0.92E-07
16.50	"	88.	16.0	0.86E-07
19.50	"	84.	16.0	0.50E-07
22.50	"	82.	16.0	0.50E-07
25.50	"	90.	16.0	0.50E-07
28.50	"	94.	16.0	0.50E-07
31.50	"	96.	16.0	0.93E-07
34.50	"	94.	16.0	0.50E-07
37.50	"	92.	16.0	0.57E-07
40.50	"	96.	16.0	0.99E-07
43.50	"	98.	16.0	0.51E-07
46.50	"	96.	16.0	0.89E-07
49.50	"	98.	16.0	0.50E-07
52.50	"	100.	16.0	0.50E-07

F R11
 XYZ -
 Ø AX
 PT 21.00
 EC 12.00
 NA 4.10

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	92.	14.0	0.40E-05
4.50	"	100.	14.0	0.19E-05
7.50	"	100.	14.0	0.45E-06

F R12
 XYZ Z
 Ø AX
 PT 97.00
 EC 1.00
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	68.	10.0	0.39E-06
4.50	"	93.0	10.0	0.58E-07
10.50	"	93.	10.0	0.74E-07
13.50	"	96.	10.0	0.50E-07
16.50	"	96.	10.0	0.92E-07
19.50	"	93.	10.0	0.17E-06
22.50	"	93.	10.0	0.42E-06
25.50	"	93.	10.0	0.50E-07
28.50	"	96.	10.0	0.71E-07
31.50	"	92.	10.0	0.13E-06
34.50	"	80.	10.0	0.50E-07
37.50	"	88.	10.0	0.50E-07
40.50	"	91.	10.0	0.50E-07
43.50	"	92.	10.0	0.96E-07
46.50	"	92.	10.0	0.58E-07
49.50	"	96.	10.0	0.50E-07
52.50	"	92.	10.0	0.76E-07
55.50	"	92.	10.0	0.60E-07
58.50	"	90.	10.0	0.97E-07
61.50	"	80.	10.0	0.66E-07
64.50	"	80.	10.0	0.50E-07
67.50	"	90.	10.0	0.67E-07
70.50	"	100.	10.0	0.65E-07
73.50	"	94.	10.0	0.94E-07

76.50	GNEISS	90.	10.0	0.50E-07
79.50	"	88.	10.0	0.64E-07
82.50	"	92.	10.0	0.50E-07
85.50	"	96.	10.0	0.85E-07
88.50	"	96.	10.0	0.85E-07
91.50	"	96.	10.0	0.50E-07
94.50	"	100.	10.0	0.71E-07

F R13
 XYZ -
 Ø AX
 PT 92.00
 EC 5.00
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	100.	10.0	0.48E-06
4.50	"	100.	10.0	0.81E-07
7.50	"	100.	10.0	0.70E-07
10.50	"	100.	10.0	0.50E-07
13.50	"	94.	10.0	0.75E-07
16.50	"	100.	10.0	0.50E-07
19.50	"	95.	10.0	0.50E-07
22.50	"	100.	10.0	0.83E-07
25.50	"	100.	10.0	0.90E-07
28.50	"	100.	10.0	0.50E-07
31.50	"	100.	10.0	0.76E-07
34.50	"	100.	10.0	0.50E-07
37.50	"	100.	10.0	0.50E-07
40.50	"	100.	10.0	0.50E-07
43.50	"	92.	10.0	0.50E-07
46.50	"	34.	10.0	0.60E-07
49.50	"	30.	10.0	0.50E-07
52.50	"	93.	10.0	0.50E-07
55.50	"	100.	10.0	0.50E-07
58.50	"	90.	10.0	0.85E-07
61.50	"	100.	10.0	0.86E-07

64.50	GNEISS	90.	10.0	0.80E-07
67.50	"	92.	10.0	0.50E-07
70.50	"	100.	10.0	0.50E-07
73.50	"	93.	10.0	0.84E-07
76.50	"	93.	10.0	0.65E-07
79.50	"	100.	10.0	0.67E-07
82.50	"	100.	10.0	0.50E-07
85.50	"	93.	10.0	0.69E-07

B. ITAJAI SUL
 E. SANTA CATARINA
 L. ITUPORANGA
 R. ITAJAI SUL
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1961

F R1
 XYZ 73.0 -97.0 28.6
 Ø AX
 PT 50.05
 EC 9.15
 NA -

P	ER	R	H	K
2.00	ARKOSE	100.	61.5	0.50E-07
5.00	"	90.	63.8	0.50E-07
8.00	"	91.	67.0	0.50E-08
11.00	"	100.	70.0	0.14E-06
14.00	"	100.	73.0	0.15E-06
17.00	"	97.	76.2	0.50E-07
20.00	"	97.	75.0	0.14E-06
23.00	SILTITE	100.	82.2	0.50E-07
26.00	ARKOSE	100.	85.2	0.10E-06
29.00	PELITE	90.	88.2	0.50E-07
32.00	ARKOSE	100.	91.4	0.91E-07
35.00	PELITE	87.	94.2	0.50E-07
38.00	ARKOSE	100.	97.0	0.50E-07
41.00	"	90.	99.0	0.59E-07

F R2
 XYZ 73.0 -52.0 20.1
 Ø AX
 PT 50.20
 EC 3.20
 NA 21.50

P	ER	R	H	K
1.50	ARKOSE	82.	54.8	0.22E-06
4.50	"	95.	58.0	0.50E-07
7.50	"	100.	61.2	0.75E-07
10.50	SILTITE	95.	63.8	0.88E-07
13.50	GRÈS FELDSPATHIQUE	99.	66.8	0.50E-08
16.50	SILTITE	95.	69.6	0.50E-07
19.50	GRÈS FELDSPATHIQUE	90	71.5	0.50E-07
22.50	" "	100.	71.5	0.32E-06
25.50	" "	100.	71.5	0.95E-06
28.50	SILTITE	100.	71.5	0.85E-07
31.50	"	82.	71.5	0.50E-07
34.50	PELITE	95.	71.5	0.50E-07
37.50	SILTITE	70.	71.5	0.50E-07
40.50	PELITE	90.	71.5	0.50E-07
43.50	SILTITE	25.	71.5	0.50E-07
46.00	" "	60.	71.5	0.50E-07

F R3
 XYZ 73.0 -7.0 0.9
 Ø AX
 PT 25.70
 EC 3.40
 NA 5.90

P	ER	R	H	K
1.50	ARKOSE	100.	55.0	0.13E-05
4.50	"	95.	55.9	0.67E-07
7.50	PELITE	85.	55.9	0.29E-05
10.50	SILTITE	85.	55.9	0.92E-07
13.50	PELITE	82.	55.9	0.56E-07
16.50	"	60.	55.9	0.66E-07
19.50	SILTITE	75.	55.9	0.60E-07
21.50	"	100.	55.9	0.75E-07

F R4
 XYZ 73.0 53.0 2.0
 Ø AX
 PT 25.10
 EC 3.50
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	ARKOSE	82.	55.0	0.40E-05
4.50	"	78.	58.0	0.32E-05
7.50	"	77.	61.0	0.32E-05
10.50	PELITE	60.	64.0	0.83E-07
13.50	"	70.	67.0	0.75E-07
16.50	ARKOSE	70.	70.0	0.68E-06
19.50	SILTITE	95.	73.0	0.72E-07

F R5
 XYZ 73.0 98.0 18.4
 Ø AX
 PT 50.00
 EC 17.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	ARKOSE	21.	68.4	0.56E-06
4.50	"	100.	71.2	0.32E-06
7.50	PELITE	92.	74.2	0.16E-06
10.50	ARKOSE	78.	77.2	0.26E-05
13.50	"	81.	80.2	0.14E-06
16.50	PELITE	78.	83.2	0.28E-06
19.50	SILTITE	81.	86.2	0.55E-06
22.50	ARKOSE	65.	89.2	0.18E-05
25.50	"	85.	92.0	0.18E-05
28.50	"	50.	95.0	0.21E-05
31.50	"	86.	98.0	0.35E-06

F R6
 XYZ 73.0 142.0 28.7
 Ø AX
 PT 50.00
 EC 14.40
 NA 16.20

P	ER	R	H	K
2.50	ARKOSE	25.	66.0	0.52E-06
5.50	PELITE	100.	66.0	0.17E-06
8.50	"	94.	66.0	0.22E-05
11.50	ARKOSE	90.	66.0	0.35E-06
14.50	"	85.	66.0	0.24E-05
17.50	"	61.	66.0	0.35E-06
20.50	"	30.	66.0	0.28E-05
23.50	PELITE	90.	66.0	0.52E-06
26.50	"	85.	66.0	0.65E-07
29.50	SILTITE	100.	66.0	0.91E-07
32.50	"	100.	66.0	0.50E-07
34.50	"	95.	66.0	0.50E-07

F R7
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 35.20
 EC 3.25
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	GRES	50.	55.0	0.42E-06
4.50	PELITE	85.	58.0	0.26E-05
7.50	GRES FELDSPATHIQUE	90.	61.0	0.38E-05
10.50	PELITE	92.	64.0	0.97E-07
13.50	"	99.	67.0	0.50E-07
16.50	"	97.	70.0	0.50E-07
19.50	"	95.	73.0	0.86E-07

22.50	ARKOSE	90.	76.0	0.82E-07
25.50	"	70.	79.0	0.29E-07
28.50	"	100.	82.0	0.30E-07
30.50	"	100.	84.0	0.70E-07

F R8
 XYZ 73.0 16.0 1.6
 Ø AX
 PT 35.45
 EC 3.00
 NA 3.10

P		ER	R	H	K
1.50	ARKOSE		95.	53.4	0.38E-05
4.50	"		75.	53.4	0.41E-05
7.50	"		90.	53.4	0.24E-05
10.50	SILTITE		90.	53.4	0.37E-05
13.50	"		79.	53.4	0.13E-05
16.50	"		95.	53.4	0.87E-06
19.50	"		100.	53.4	0.17E-05

B. RIO DO PEIXE - 2º SALTO
 E. MINAS GERAIS
 L. JUIZ DE FORA
 R. PEIXE
 C. HIDRONACIONAL
 E. SONDOTECNICA
 A. 1965

F S1
 XYZ 0.0 250.0 70.1
 Ø AX
 PT 25.00
 EC 13.00
 NA 14.15

P		ER	R	H	K
1.50	BIOTITE GNEISS GRANATIFER		90.	24.1	0.52E-05
4.50	" " "		100.	24.1	0.40E-06
7.50	" " "		100.	24.1	0.50E-08
10.50	" " "		92.	24.1	0.74E-07

F 52
 XYZ 0.0 140.0 42.4
 Ø AX
 PT 30.00
 EC 22.70
 NA 19.90

P		ER	R	H	K
2.50	BIOTITE GNEISS GRANATIFER		85.	26.9	0.50E-08
5.50	" " "		100.	29.9	0.50E-08

F S3
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 40.00
 EC 11.60
 NA 1.60

P	ER	R	H	K
1.50	BIOTITE GNEISS GRANITIFÈRE	98.	11.6	0.19E-06
4.50	" " "	99.	11.6	0.11E-06
7.50	" " "	100.	11.6	0.50E-08
10.50	" " "	99.	11.6	0.50E-08
13.50	" " "	99.	11.6	0.50E-08
16.50	" " "	100.	11.6	0.76E-08
19.50	" " "	99.	11.6	0.50E-08
22.50	" " "	100.	11.6	0.50E-08
25.50	" " "	100.	11.6	0.50E-08

F S4
 XYZ -15.0 -148.0 32.6
 Ø AX
 PT 30.00
 EC 18.40
 NA 19.50

P	ER	R	H	K
1.50	BIOTITE GNEISS GRANITIFÈRE	95.	29.5	0.29E-07
4.50	" " "	95.	29.5	0.85E-07
7.50	" " "	90.	29.5	0.56E-07
10.50	" " "	95.	29.5	0.50E-08

F S5
 XYZ -23.0 -220.0 62.8
 Ø AX
 PT 25.00
 EC 19.28
 NA 15.28

P	ER	R	H	K
1.50	BIOTITE GNEISS GRANITIFÈRE	90.	25.2	0.70E-07
4.50	" " "	95.	25.2	0.48E-06

B. NORTE
 E. SANTA CATARINA
 L. BARRA DO DOLLMANN
 R. ITAJAI DO NORTE
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1964

F R1
 XYZ 0.0 170.0 45.4
 Ø AX
 PT 61.00
 EC 2.50
 NA -

P	ER	R	H	K
2.00	TELLURITE POLITIQUE	90.	15.0	0.19E-05
5.00	" " "	80.	18.0	0.41E-05
8.00	" " "	50.	21.0	0.30E-05
11.00	" " "	90.	24.0	0.30E-05
14.00	" " "	85.	27.0	0.81E-05
17.00	" " "	15.	30.0	0.18E-05
20.00	" " "	40.	33.0	0.10E-05
26.00	" " "	90.	39.0	0.15E-07
29.00	" " "	92.	42.0	0.30E-07
32.00	" " "	70.	45.0	0.13E-07
35.00	" " "	85.	48.0	0.26E-07
38.00	" " "	50.	51.0	0.38E-05
41.00	" " "	58.	54.0	0.26E-05
44.00	" " "	19.	57.0	0.26E-05
47.00	" " "	90.	50.0	0.14E-06
50.00	" " "	100.	63.0	0.43E-07
53.00	" " "	95.	66.0	0.13E-05
56.00	" " "	98.	69.0	0.26E-06

F R2
 XYZ 0.0 100.0 23.2
 Ø AX
 PT 45.85
 EC 9.40
 NA 12.50

P	ER	R	H	K
4.50	TILLITE GRÉSEUX	50.	22.5	0.19E-06
7.50	" "	30.	22.5	0.62E-06
10.50	" "	85.	22.5	0.12E-06
13.50	" "	15.	22.5	0.84E-06
16.50	" PÉLITIQUE	70.	22.5	0.21E-06
19.50	" "	100.	22.5	0.21E-07
22.50	" "	98.	22.5	0.12E-07
25.50	" "	100.	22.5	0.30E-07
28.50	" "	100.	22.5	0.30E-07
31.50	" "	90.	22.5	0.64E-06

F R3
 XYZ 0.0 40.0 6.9
 Ø AX
 PT 35.25
 EC 14.00
 NA 1.80

P	ER	R	H	K
7.50	TILLITE PÉLITIQUE	90.	12.0	0.18E-06
9.50	" "	75.	12.0	0.58E-07
13.50	" "	70.	12.0	0.12E-06
16.50	" "	59.	12.0	0.82E-07
19.50	" "	50.	12.0	0.35E-05
22.50	" "	45.	12.0	0.35E-05
25.50	" "	70.	12.0	0.13E-06
28.50	" "	80.	12.0	0.59E-07

F R4
 XYZ 0.0 20.0 2.4
 Ø AX
 PT 20.10
 EC 3.50
 NA -

P	ER	R	H	K
3.50	TILLITE PÉLITIQUE	58.	10.0	0.36E-05
6.50	" "	60.	10.0	0.50E-08
9.50	" "	70.	10.0	0.50E-08
12.50	" "	39.	10.0	0.17E-05
15.50	" "	90.	10.0	0.17E-07

P R5
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 60.45
 EC 2.40
 NA -

P	ER	R	H	K
3.50	TILLITE PÉLITIQUE	85.	21.0	0.10E-04
6.50	" "	62.	24.0	0.99E-05
9.50	" "	84.	27.0	0.86E-06
12.50	" "	19.	30.0	0.30E-07
15.50	" "	41.	33.0	0.30E-07
18.50	" "	100.	36.0	0.21E-07
21.50	" "	100.	39.0	0.30E-07
24.50	" "	99.	42.0	0.12E-05
27.50	" "	100.	45.0	0.19E-06
30.50	" "	100.	48.0	0.34E-07
33.50	" "	100.	51.0	0.34E-07
36.50	" "	95.	54.0	0.43E-07
39.50	" "	100.	57.0	0.43E-07

42.50	TILLITE PÉLITIQUE	93.	60.0	0.86E-07
45.50	" "	93.	63.0	0.60E-07
48.50	" "	80.	66.0	0.64E-07
51.50	" "	93.	69.0	0.60E-07
54.50	" "	100.	72.0	0.34E-07
57.50	" "	93.	75.0	0.14E-06

F R7
 XYZ 0.0 -40.0 7.3
 Ø AX
 PT 36.10
 EC 2.20
 NA 1.90

P		ER	R	H	K
8.50	TILLITE PÉLITIQUE		64.	11.9	0.45E-05
11.50	" "		90.	11.9	0.95E-07
14.50	" "		100.	11.9	0.34E-07
17.50	" "		90.	11.9	0.21E-07
20.50	" "		95.	11.9	0.21E-07
23.50	" "		100.	11.9	0.21E-07
26.50	" "		100.	11.9	0.13E-07
27.50	" "		100.	11.9	0.13E-07
32.50	" "		90.	11.9	0.43E-07

F R8
 XYZ 0.0 -80.0 36.7
 Ø AX
 PT 45.30
 EC 0.80
 NA 14.30

P		ER	R	H	K
13.50	TILLITE GRÉSEUX		50.	24.3	0.19E-05
16.50	" "		70.	24.3	0.13E-05
19.50	" "		38.	24.3	0.99E-06
22.50	" "		10.	24.3	0.75E-05
25.50	" "		40.	24.3	0.36E-05
28.50	" "		95.	24.3	0.39E-05
31.50	" "		100.	24.3	0.43E-07
34.50	" "		98.	24.3	0.12E-06
37.50	" "		100.	24.3	0.30E-07
40.50	" "		80.	24.3	0.60E-06
43.50	" "		100.	24.3	0.13E-07

F R9
 XYZ 0.0 -110.0 49.6
 Ø AX
 PT 60.25
 EC 3.00
 NA 16.00

P		ER	R	H	K
14.50	TILLITE GRÉSEUX		95.	26.0	0.43E-07
17.50	" "		99.	26.0	0.43E-07
20.50	" "		55.	26.0	0.28E-07
23.50	" "		60.	26.0	0.24E-05
26.50	" "		70.	26.0	0.11E-05
29.50	" "		85.	26.0	0.43E-07
32.50	" "		70.	26.0	0.13E-06
35.50	" "		99.	26.0	0.30E-07
38.50	" "		100.	26.0	0.99E-08
41.50	" "		99.	26.0	0.11E-06
44.50	" "		99.	26.0	0.39E-06
47.50	" "		100.	26.0	0.13E-06
50.50	" "		99.	26.0	0.24E-06

C.68

53.50	TILLITE GRESEUX	99.	26.0	0.34E-06
56.50	" "	100.	26.0	0.95E-07

F	R6
XYZ	0.0 -20.0 0.7
Ø	AX
PT	13.80
EC	2.50
NA	-

P	ER	R	H	K
1.50	TILLITE PÉLITIQUE	10.	1.8	0.10E-04
4.50	" "	60.	2.1	0.15E-05

F	R10
XYZ	50.0 50.0 7.7
Ø	AX
PT	37.25
EC	2.70
NA	0.50

P	ER	R	H	K
3.00	TILLITE PÉLITIQUE	70.	10.5	0.36E-05
6.00	" "	55.	10.5	0.11E-05
9.00	" "	95.	10.5	0.13E-07
12.00	" "	90.	10.5	0.63E-08
15.00	" "	100.	10.5	0.43E-07
18.00	" "	95.	10.5	0.30E-07
21.00	" "	90.	10.5	0.60E-05
24.00	" "	40.	10.5	0.50E-08
27.00	" "	95.	10.5	0.56E-06
30.00	" "	90.	10.5	0.50E-08
33.00	" "	90.	10.5	0.13E-05

C.69

F	BXI
XYZ	-103.0 66.0 11.5
Ø	BX
PT	52.00
EC	5.80
NA	5.35

P	ER	R	H	K
3.00	TILLITE PÉLITIQUE	85.	15.3	0.39E-05
6.00	" "	90.	15.3	0.33E-07
9.00	" "	90.	15.3	0.12E-05
12.00	" "	96.	15.3	0.38E-05
15.00	" "	97.	15.3	0.29E-07
18.00	" "	97.	15.3	0.41E-07
21.00	" "	100.	15.3	0.41E-07
24.00	" "	90.	15.3	0.33E-07
27.00	" "	85.	15.3	0.59E-05
30.00	" "	85.	15.3	0.47E-05
33.00	" "	98.	15.3	0.25E-07
36.00	" "	96.	15.3	0.41E-06
39.00	" "	78.	15.3	0.25E-05
42.00	" "	70.	15.3	0.43E-05
45.00	" "	100.	15.3	0.33E-07

F	BX2
XYZ	-100.0 -39.0 4.1
Ø	BX
PT	47.70
EC	-
NA	-

P	ER	R	H	K
7.00	TILLITE PÉLITIQUE	70.	20.0	0.69E-05
10.00	" "	80.	23.0	0.41E-07
13.00	" "	95.	26.0	0.59E-05
16.00	" "	95.	29.0	0.58E-05
19.00	" "	95.	32.0	0.15E-07

22.00	TILLITE PELITIQUE	90.	35.0	0.14E-06
25.00	" "	100.	38.0	0.50E-08
28.00	" "	98.	41.0	0.12E-06
31.00	" "	70.	44.0	0.49E-07
34.00	" "	90.	47.0	0.74E-07
37.00	" "	98.	50.0	0.69E-07
40.00	" "	98.	53.0	0.98E-07
43.00	" "	100.	56.0	0.41E-07

F	BX3			
XYZ	-53.0	144.0	28.2	
Ø	-			
PT	45.35			
EC	4.50			
NA	11.65			

P	ER	R	H	K
3.00	TILLITE PELITIQUE	38.	18.0	0.64E-05
6.00	" "	95.	22.0	0.22E-04
12.00	" "	60.	22.0	0.18E-05
15.00	" "	100.	22.0	0.41E-07
18.00	" "	100.	22.0	0.41E-07
21.00	" "	100.	22.0	0.61E-07
24.00	" "	95.	22.0	0.50E-08
27.00	" "	100.	22.0	0.51E-05
30.00	" "	100.	22.0	0.21E-05
33.00	" "	100.	22.0	0.41E-07
36.00	" "	100.	22.0	0.82E-07
39.00	" "	100.	22.0	0.41E-07

F	BX4			
XYZ	-54.0	-110.0	44.9	
Ø	BX			
PT	61.10			
EC	0.20			
NA	9.20			

P	ER	R	H	K
3.00	TILLITE GRÉSEUX	70.	13.0	0.50E-08
6.00	" "	80.	16.0	0.41E-07
9.00	" "	85.	19.0	0.78E-06
12.00	" "	90.	19.0	0.82E-07
15.00	" "	50.	19.0	0.20E-04
18.00	" "	100.	19.0	0.41E-07
21.00	" "	100.	19.0	0.41E-07
24.00	" "	70.	19.0	0.18E-06
27.00	" "	90.	19.0	0.82E-06
30.00	" "	95.	19.0	0.41E-07
33.00	" "	100.	19.0	0.62E-07
36.00	" "	85.	19.0	0.19E-04
39.00	" "	100.	19.0	0.26E-06
42.00	" "	100.	19.0	0.62E-07
45.00	" "	100.	19.0	0.62E-07
48.00	" "	100.	19.0	0.22E-06
51.00	" "	100.	19.0	0.62E-07
54.00	" "	100.	19.0	0.41E-07
57.00	" "	100.	19.0	0.10E-08
59.00	" "	100.	19.0	0.62E-07

F	RX5			
XYZ	47.0	145.0	33.5	
Ø	BX			
PT	45.00			
EC	11.90			
NA	15.90			

p	ER	R	H	K
3.00	TILLITE GRÉSEUX	45.	25.0	0.98E-06
6.00	" "	90.	26.0	0.50E-08
9.00	" "	95.	26.0	0.12E-06
12.00	TILLITE PELITIQUE	80.	26.0	0.94E-06
15.00	" "	95.	26.0	0.10E-05

18.00	TILLITE PÉLITIQUE	100.	26.0	0.50E-08
21.00	" "	100.	26.0	0.12E-06
24.00	" "	100.	26.0	0.41E-07
27.00	" "	100.	26.0	0.12E-06
30.00	" "	95.	26.0	0.82E-07
32.00	" "	95.	26.0	0.12E-07

F	BX6
XYZ	44.0 -110.0 39.5
Ø	BX
PT	58.00
EC	0.50
NA	25.20

P	ER	R	H	K
3.50	TILLITE GRÉSEUX	50.	14.0	0.88E-05
6.50	" "	70.	17.0	0.57E-07
9.50	" "	50.	20.0	0.90E-06
12.50	TILLITE PÉLITIQUE	95.	22.5	0.57E-07
15.50	" "	95.	25.5	0.67E-07
18.50	" "	85.	28.5	0.39E-05
21.50	" "	90.	35.2	0.82E-07
24.50	" "	100.	35.2	0.57E-07
27.50	" "	90.	35.2	0.57E-07
30.50	" "	95.	35.2	0.82E-07
33.50	" "	95.	35.2	0.38E-05
36.50	" "	95.	35.2	0.41E-07
39.50	" "	100.	35.2	0.41E-07
42.50	" "	98.	35.2	0.37E-07
45.50	" "	95.	35.2	0.82E-07
48.50	" "	100.	35.2	0.57E-07
51.50	" "	100.	35.2	0.57E-07
54.50	" "	80.	35.2	0.20E-05

F	BX7
XYZ	97.0 69.0 14.3
Ø	BX
PT	50.00
EC	10.85
NA	8.90

P	ER	R	H	K
1.50	TILLITE PÉLITIQUE	38.	18.9	0.15E-05
4.50	" "	90.	18.9	0.74E-06
7.50	" "	60.	18.9	0.18E-05
11.00	" "	100.	18.9	0.16E-06
14.00	" "	100.	18.9	0.25E-05
17.00	" "	90.	18.9	0.22E-05
20.00	" "	85.	18.9	0.66E-06
23.00	" "	100.	18.9	0.57E-06
26.00	" "	100.	18.9	0.41E-07
29.00	" "	100.	18.9	0.41E-07
32.00	" "	95.	18.9	0.39E-05
35.00	" "	95.	18.9	0.12E-06
38.00	" "	100.	18.9	0.82E-07

F	BX8
XYZ	91.0 -40.0 12.9
Ø	BX
PT	51.00
EC	10.10
NA	7.70

P	ER	R	H	K
1.50	TILLITE PÉLITIQUE	90.	17.7	0.30E-05
4.50	" "	80.	17.7	0.37E-06
7.50	" "	70.	17.7	0.32E-05
10.50	" "	80.	17.7	0.27E-05
13.50	" "	100.	17.7	0.50E-08

16.50	TILLITE PÉLITIQUE	98.	17.7	0.31E-05
19.50	" "	70.	17.7	0.14E-05
22.50	" "	90.	17.7	0.49E-06
25.50	" "	95.	17.7	0.41E-07
28.50	" "	95.	17.7	0.41E-07
31.50	" "	90.	17.7	0.50E-08
34.50	" "	100.	17.7	0.41E-07
37.50	" "	99.	17.7	0.50E-08
40.00	" "	100.	17.7	0.82E-07

F	BX9			
XYZ	0.0	207.0	54.8	
Ø	BX			
PT	60.75			
EC	13.80			
NA	16.60			

P	ER	R	H	K
1.50	TILLITE PÉLITIQUE	30.	25.5	0.69E-06
4.50	" "	35.	26.6	0.78E-06
7.50	" "	90.	26.6	0.50E-08
10.50	" "	75.	26.6	0.69E-06
13.50	" "	28.	26.6	0.41E-05
16.50	" "	55.	26.6	0.33E-05
19.50	" "	75.	26.6	0.26E-05
22.50	" "	95.	26.6	0.42E-05
25.50	" "	100.	26.6	0.90E-06
28.50	" "	40.	26.6	0.66E-06
31.50	" "	95.	26.6	0.25E-05
34.50	" "	80.	26.6	0.31E-05
37.50	" "	95.	26.6	0.50E-08
40.50	" "	100.	26.6	0.16E-07
42.50	" "	95.	26.6	0.16E-07
45.00	" "	98.	26.6	0.16E-07

F	BX10			
XYZ	-87.0	240.0	30.9	
Ø	BX			
PT	40.50			
EC	4.10			
NA	12.45			

P	ER	R	H	K
4.50	TILLITE PÉLITIQUE	30.	19.0	0.54E-05
7.50	" "	80.	22.0	0.24E-05
10.50	" "	90.	22.4	0.28E-05
13.50	" "	85.	22.4	0.24E-05
16.50	" "	90.	22.4	0.50E-08
19.50	" "	75.	22.4	0.82E-07
22.50	" "	90.	22.4	0.50E-08
25.50	" "	95.	22.4	0.12E-06
28.50	" "	97.	22.4	0.50E-08
31.50	" "	100.	22.4	0.50E-08
34.50	" "	100.	22.4	0.50E-08

B. SÃO BERNARDO
 E. DISTRITO FEDERAL
 L.
 R. PRETO
 C. NOVACAP
 E. SONDOTÉCNICA
 A. 1966

F SPR1
 XYZ 50.0 -263.0 7.2
 Ø BX
 PT 16.70
 EC 1.50
 NA 5.20

P	ER	R	H	K
3.50	METASILTITE + ARDOISE	55.	15.2	0.17E-05
6.50	" "	42.	15.2	0.20E-05
			35.2	0.14E-05
			55.2	0.14E-05
9.50	" "	50.	15.2	0.30E-05
			35.2	0.20E-05
			55.2	0.16E-05
13.00	" "	80.	15.2	0.52E-05
			35.2	0.25E-05
			55.2	0.17E-05

F SPR2
 XYZ 450.0 -345.0 1.8
 Ø BX
 PT 16.00
 EC 4.00
 NA 1.90

P	ER	R	H	K
5.50	METASILTITE	45.	11.9	0.51E-05
8.50	"	45.	11.9	0.77E-05
			31.9	0.32E-05
			51.9	0.23E-05
11.50	"	35.	11.9	0.80E-05
			31.9	0.36E-05
			51.9	0.25E-05
14.50	ARDOISE + METASILTITE	55.	11.9	0.44E-05
			31.9	0.19E-05
			51.9	0.16E-05

F SPR3
 XYZ -10.0 155.0 28.9
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 15.00
 NA 4.80

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	30	14.8	0.53E-05
			34.8	0.26E-05
			54.8	0.17E-05
4.50	"	35.	14.8	0.13E-05
			34.8	0.26E-05
			54.8	0.20E-05
7.50	"	40.	14.8	0.12E-05
			34.8	0.18E-05
			54.8	0.35E-05
10.50	METASILITE-CALCIFÈRE	55.	14.8	0.40E-05
			34.8	0.18E-05
			54.8	0.14E-05
13.50	METASILITE-CALCIFÈRE + ARDOISE	90.	14.8	0.37E-05
			34.8	0.17E-05
			54.8	0.13E-05

16.50	METASILTITE CALCIFÈRE+ARDOISE	60.	14.8	0.40E-05
			34.8	0.19E-05
			54.8	0.14E-05
19.50	" " "	90.	14.8	0.23E-05
			34.8	0.18E-05
			54.8	0.70E-06
23.00	" " "	99.	14.8	0.13E-06
			34.8	0.72E-06
			54.8	0.55E-06

F SPR4
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 4.00
 NA 2.00

P	ER	R	H	K
8.00	ARDOISE+SILTITE CALCIFÈRE	80.	12.0	0.11E-04
11.00	" " "	99.	12.0	0.23E-05
			32.0	0.16E-05
			52.0	0.22E-05
14.00	ARDOISE + METASILTITE	100.	12.0	0.28E-05
			32.0	0.19E-05
			52.0	0.26E-05
17.00	" " "	99.	12.0	0.29E-05
			32.0	0.20E-05
			52.0	0.26E-05
20.00	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	80.	12.0	0.36E-05
			32.0	0.19E-05
			52.0	0.22E-05
23.00	" " "	93.	12.0	0.23E-05
			32.0	0.14E-05
			52.0	0.15E-05

26.00	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	100.	12.0	0.18E-05
			32.0	0.16E-05
			52.0	0.13E-05
29.00	" " "	90.	12.0	0.60E-06
			32.0	0.35E-06
			52.0	0.52E-06
32.00	" " "	65.	12.0	0.60E-06
			32.0	0.33E-06
			52.0	0.12E-05
35.00	" " "	60.	12.0	0.22E-05
			32.0	0.18E-05
			52.0	0.18E-05
38.00	" " "	100.	12.0	0.50E-08
			32.0	0.50E-08
			52.0	0.50E-08

F SPR5
 XYZ 0.0 -140.0 6.5
 Ø BX
 PT 41.00
 EC 5.00
 NA 7.10

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE + ARDOISE CALCIFÈRE	30.	17.1	0.68E-05
4.50	" " "	35.	17.1	0.46E-05
			37.1	0.40E-05
			57.1	0.44E-05
7.50	" " "	45.	17.1	0.34E-05
			37.1	0.26E-05
			57.1	0.32E-05

10.50	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	85.	17.1	0.27E-05
			37.1	0.15E-05
			57.1	0.14E-05
13.50	" " "	77.	17.1	0.36E-05
			37.1	0.55E-05
			57.1	0.33E-05
16.50	" " "	75.	17.1	0.35E-05
			37.1	0.42E-05
			57.1	0.19E-05
19.50	" " "	85.	17.1	0.17E-06
			37.1	0.12E-06
			57.1	0.12E-06
22.50	METASILTITE	95.	17.1	0.17E-06
			37.1	0.24E-06
			57.1	0.24E-06
25.50	"	86.	17.1	0.50E-08
			37.1	0.79E-07
			57.1	0.21E-06
28.50	"	79.	17.1	0.17E-05
			37.1	0.22E-05
			57.1	0.22E-05
31.50	ARDOISE + METASILTITE	90.	17.1	0.26E-05
			37.1	0.24E-05
			57.1	0.23E-05
34.50	" "	88.	17.1	0.12E-05
			37.1	0.14E-05
			57.1	0.13E-05

F SPR6
 XYZ 5.0 -270.0 7.8
 Ø BX
 PT 42.50
 EC 3.50
 NA 8.10

P	ER	R	H	K
5.00	METASILTITE + ARDOISE	35.	18.1	0.85E-06
8.00	" "	33.	18.1	0.74E-06
			38.1	0.24E-05
			58.1	0.16E-05
11.00	" "	33.	18.1	0.15E-05
			38.1	0.23E-05
			58.1	0.22E-05
14.00	" "	32.	18.1	0.90E-06
			38.1	0.10E-05
			58.1	0.14E-05
17.00	ARDOISE + METASILTITE	35.	18.1	0.94E-05
			38.1	0.15E-05
			58.1	0.16E-05
20.00	" "	80.	18.1	0.40E-06
			38.1	0.50E-06
			58.1	0.72E-06
23.00	" "	70.	18.1	0.23E-05
			38.1	0.32E-05
			58.1	0.30E-05
26.00	METASILTITE + ARDOISE	60.	18.1	0.36E-06
			38.1	0.51E-06
			58.1	0.71E-06
29.00	" "	25.	18.1	0.24E-06
			38.1	0.45E-06
			58.1	0.95E-06
32.00	" "	35.	18.1	0.33E-05
			38.1	0.32E-05
			58.1	0.30E-05
35.00	" "	95.	18.1	0.44E-06
			38.1	0.72E-06
			58.1	0.80E-06
37.50	" "	100.	18.1	0.85E-07
			38.1	0.14E-06
			58.1	0.14E-06

F SPR7
 XYZ 45.0 -375.0 12.6
 Ø BX
 PT 42.00
 EC 12.00
 NA 10.50

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE CALCIFÈRE + ARDOISE	25.	20.5	0.34E-05
4.50	" " "	45.	20.5	0.50E-05
			40.5	0.50E-05
			60.5	0.38E-05
7.50	" " "	75.	20.5	0.21E-05
			40.5	0.17E-05
			60.5	0.17E-05
10.50	" " "	60.	20.5	0.12E-05
			40.5	0.15E-05
			60.5	0.13E-05
13.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	75.	20.5	0.23E-05
			40.5	0.20E-05
			60.5	0.35E-05
16.50	ARDOISE + METASILTITE	62.	20.5	0.31E-05
			40.5	0.21E-05
			60.5	0.24E-05
19.50	METASILTITE CALCIFÈRE + ARDOISE	75.	20.5	0.73E-05
			40.5	0.52E-05
			60.5	0.62E-05
22.50	" " "	95.	20.5	0.35E-05
			40.5	0.34E-05
			60.5	0.37E-05
25.50	" " "	97.	20.5	0.90E-05
			40.5	0.54E-05
			60.5	0.58E-05
28.50	" " "	97.	20.5	0.40E-06
			40.5	0.68E-06
			60.5	0.89E-06

F SPR8
 XYZ -295.0 405.0 40.2
 Ø BX
 PT 33.00
 EC 12.00
 NA 7.50

P	ER	R	H	K
10.50	ARDOISE + SILTITE	33.	17.5	0.55E-05
14.50	" "	35.	17.5	0.17E-05
			37.5	0.15E-05
			57.5	0.12E-05
17.50	METASILTITE	23.	17.5	0.18E-05
			37.5	0.89E-06
			57.5	0.15E-05
20.50	" "	38.	17.5	0.13E-05
			37.5	0.95E-06
			57.5	0.95E-06

F SPR9
 XYZ -193.0 310.0 37.6
 Ø BX
 PT 24.00
 EC 12.00
 NA -

P	ER	R	H	K
4.50	SILTITE	35.	26.5	0.60E-06
7.50	" "	65.	30.0	0.60E-06
			50.0	0.52E-06
			70.0	0.58E-06
10.50	" "	62.	32.5	0.40E-06
			52.0	0.42E-06
			77.2	0.44E-06

F SPR10
 XYZ -100.0 205.0 31.6
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 9.50
 NA 5.50

P	ER	R	H	K
1.50	ARDOISE + METASILTITE	28.	15.5	0.69E-05
4.50	" "	30.	15.5	0.52E-05
			35.5	0.26E-05
			55.5	0.15E-05
7.50	" "	35.	15.5	0.30E-05
			35.5	0.16E-05
			55.5	0.12E-05
10.50	CALCAIRE	60.	15.5	0.12E-05
			35.5	0.13E-05
			55.5	0.95E-06
13.50	"	95.	15.5	0.25E-05
			35.5	0.15E-05
			55.5	0.11E-05
16.50	METASILTITE	93.	15.5	0.88E-05
			35.5	0.23E-05
			55.5	0.15E-05
19.50	"	77.	15.5	0.53E-05
			35.5	0.26E-05
			55.5	0.17E-05
22.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	65.	15.5	0.21E-05
			35.5	0.12E-05
			55.5	0.90E-06
25.50	" " "	93.	15.5	0.80E-06
			35.5	0.14E-05
			55.5	0.10E-05
28.50	" " "	100.	15.5	0.45E-06
			35.5	0.48E-06
			55.5	0.85E-06

F SPR11
 XYZ -70.0 70.0 1.8
 Ø BX
 PT 42.00
 EC 0.50
 NA 3.65

P	ER	R	H	K
4.00	ARDOISE	87.	13.6	0.60E-05
7.00	ARDOISE + METASILTITE	65.	13.6	0.70E-05
			33.6	0.66E-05
			53.6	0.80E-05
10.00	METASILTITE CALCIFÈRE	60.	13.6	0.42E-05
			33.6	0.48E-05
			53.6	0.44E-05
13.00	METASILTITE + ARDOISE CALCIFÈRE	80.	13.6	0.76E-06
			33.6	0.80E-06
			53.6	0.26E-05
16.00	" " "	75.	13.6	0.24E-05
			33.6	0.23E-05
			53.6	0.22E-05
19.00	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	98.	13.6	0.32E-06
22.00	" " "	100.	13.6	0.43E-06
			33.6	0.41E-06
			53.6	0.36E-06
25.00	" " "	99.	13.6	0.53E-06
			33.6	0.55E-06
			53.6	0.41E-06
28.00	" " "	87.	13.6	0.52E-05
			33.6	0.48E-05
			53.6	0.38E-05
31.00	" " "	83.	13.6	0.46E-05
			33.6	0.46E-05
			53.6	0.35E-05
34.00	ARDOISE + SILTITE	95.	13.6	0.62E-05
			33.6	0.36E-05
			53.6	0.32E-05

37.00	ARDOISE + SILTITE	100.	13.6	0.50E-08
			33.6	0.44E-07
			53.6	0.69E-07
40.00	" "	100.	13.6	0.50E-08
			33.6	0.50E-08
			53.6	0.28E-07

F SPR12
 XYZ -70.0 -70.0 5.7
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 3.00
 NA 7.00

P	ER	R	H	K
5.00	METASILTITE + ARDOISE	70.	17.0	0.21E-04
8.00	" "	45.	17.0	0.12E-04
			37.0	0.45E-05
			57.0	0.55E-05
11.00	" "	65.	17.0	0.40E-05
			37.0	0.33E-05
			57.0	0.40E-05
14.00	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	80.	17.0	0.30E-05
			37.0	0.36E-05
			57.0	0.42E-05
17.00	" " "	99.	17.0	0.12E-05
			37.0	0.83E-05
			57.0	0.12E-05
20.00	" " "	98.	17.0	0.18E-05
			37.0	0.15E-05
			57.0	0.18E-05
23.00	METASILTITE + ARDOISE	65.	17.0	0.28E-05
			37.0	0.20E-05
			57.0	0.26E-05
26.00	" "	50.	17.0	0.30E-05
			37.0	0.18E-05
			57.0	0.22E-05

29.00	METASILTITE + ARDOISE	45.	17.0	0.12E-05
			37.0	0.11E-05
			57.0	0.11E-05
32.00	METASILTITE + ARDOISE	85.	17.0	0.13E-06
			37.0	0.16E-06
			57.0	0.22E-06
35.00	" "	95.	17.0	0.34E-06
			37.0	0.19E-06
			57.0	0.22E-06

F SPR13
 XYZ -70.0 -210.0 9.8
 Ø BX
 PT 42.00
 EC 3.00
 NA 12.20

P	ER	R	H	K
4.50	METASILTITE	45.	17.5	0.12E-05
7.50	"	15.	20.5	0.68E-07
			40.5	0.52E-06
			60.5	0.62E-06
10.50	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	25.	22.2	0.98E-05
			42.2	0.14E-05
			62.2	0.13E-05
13.50	" " "	20.	22.2	0.76E-06
			42.2	0.12E-05
			62.2	0.10E-05
16.50	" " "	70.	22.2	0.37E-06
			42.2	0.60E-06
			62.2	0.95E-06
19.50	" " "	55.	22.2	0.94E-05
			42.2	0.12E-05
			62.2	0.13E-06
22.50	" " "	85.	22.2	0.16E-05
			42.2	0.20E-05
			62.2	0.16E-05

25.50	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	82.	22.2	0.34E-05
			42.2	0.24E-05
			62.2	0.23E-05
28.50	" " "	95.	22.2	0.49E-05
			42.2	0.58E-06
			62.2	0.90E-06
31.50	" " "	82.	22.2	0.17E-05
			42.2	0.14E-05
			62.2	0.14E-05
34.50	" " "	95.	22.2	0.13E-05
			42.2	0.15E-05
			62.2	0.14E-05
37.50	" " "	90.	22.2	0.23E-05
			42.2	0.19E-05
			62.2	0.23E-05

F SPR14
 XYZ -45.0 -345.0 12.5
 Ø BX
 PT 45.00
 EC 7.00
 NA 11.10

P	ER	R	H	K
4.50	METASILTITE + ARDOISE	13.	21.1	0.24E-05
7.50	" "	25.	21.1	0.18E-05
			41.1	0.16E-05
			61.1	0.14E-05
10.50	" "	21.	21.1	0.27E-05
			41.1	0.32E-05
			61.1	0.32E-05
13.50	" "	22.	21.1	0.33E-05
			41.1	0.36E-05
			61.1	0.38E-05
16.50	" "	35.	21.1	0.16E-05
			41.1	0.13E-05
			61.1	0.12E-05

19.50	METASILTITE CALCIFERE + ARDOISE	50.	21.1	0.65E-06
			41.1	0.12E-05
			61.1	0.15E-05
22.50	" " "	55.	21.1	0.52E-06
			41.1	0.80E-06
			61.1	0.90E-06
25.50	" " "	35.	21.1	0.14E-05
			41.1	0.15E-05
			61.1	0.13E-05
28.50	" " "	60.	21.1	0.20E-05
			41.1	0.17E-05
			61.1	0.25E-05
31.50	" " "	70.	21.1	0.15E-05
			41.1	0.17E-05
			61.1	0.21E-05
34.50	" " "	82.	21.1	0.45E-06
			41.1	0.50E-06
			61.1	0.54E-06
37.00	" " "	67.	21.1	0.20E-06
			41.1	0.21E-06
			61.1	0.34E-06

F SPR15
 XYZ 25.0 -465.0 19.3
 Ø BX
 PT 41.00
 EC 6.00
 NA 2.40

P	ER	R	H	K
4.50	METASILTITE	21.	22.4	0.66E-06
7.50	"	35.	22.4	0.42E-06
			42.4	0.11E-06
			62.4	0.10E-05
10.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFERE	90.	22.4	0.28E-05
			42.4	0.18E-05
			62.4	0.14E-05

13.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFERE	100.	22.4	0.12E-06
			42.4	0.12E-06
			62.4	0.15E-06
16.50	" " "	100.	22.4	0.13E-05
			42.4	0.11E-05
			62.4	0.12E-05
19.50	" " "	97.	22.4	0.50E-05
			42.4	0.61E-06
			62.4	0.68E-06
22.50	" " "	96.	22.4	0.50E-08
			42.4	0.50E-06
			62.4	0.44E-06
25.50	" " "	81.	22.4	0.37E-06
			42.4	0.34E-06
			62.4	0.44E-06
28.50	" " "	95.	22.4	0.50E-08
			42.4	0.12E-06
			62.4	0.13E-06
31.50	" " "	83.	22.4	0.10E-05
			42.4	0.13E-05
			62.4	0.16E-05
33.50	" " "	90.	22.4	0.65E-06
			42.4	0.63E-06
			62.4	0.85E-06

F	SPR16
XYZ	130.0 -555.0 29.6
Ø	BX
PT	42.00
EC	11.50
NA	7.50

P	ER	R	H	K
5.00	METASILTITE	30.	17.5	0.26E-06
8.00	METASILTITE CALCIFERE	45.	17.5	0.22E-06
			37.5	0.36E-06
			57.5	0.13E-05
11.00	" "	40.	17.5	0.47E-06
			37.5	0.46E-06
			57.5	0.11E-05

14.00	METASILTITE CALCIFERE	65.	17.5	0.12E-06
			37.5	0.12E-06
			57.5	0.33E-06
17.00	" "	80.	17.5	0.30E-06
			37.5	0.26E-05
			57.5	0.22E-05
20.00	" "	93.	17.5	0.85E-07
			37.5	0.12E-06
			57.5	0.12E-06
23.00	" "	95.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.60E-07
			57.5	0.94E-07
26.00	" "	65.	17.5	0.90E-06
			37.5	0.14E-05
			57.5	0.12E-05
29.00	" "	90.	17.5	0.50E-08
			37.5	0.40E-07
			57.5	0.51E-07

F	SPR17
XYZ	255.0 -610.0 37.5
Ø	BX
PT	40.00
EC	15.00
NA	6.00

P	ER	R	H	K
7.30	METASILTITE	13.	16.0	0.90E-06
10.30	" "	33.	16.0	0.12E-05
			36.0	0.10E-05
			56.0	0.70E-06
13.30	" "	45.	16.0	0.51E-06
			36.0	0.53E-06
			56.0	0.60E-06
16.30	METASILTITE CALCIFERE	70.	16.0	0.32E-06
			36.0	0.45E-06
			56.0	0.52E-06

19.30	METASILTITE CALCIFÈRE	65.	16.0	0.15E-06
			36.0	0.14E-05
			56.0	0.14E-05
22.30	" "	95.	16.0	0.44E-07
			36.0	0.60E-07
			56.0	0.95E-07

F SPR18
 XYZ 390.0 -665.0 37.9
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 24.00
 NA 21.50

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE CALCIFÈRE	33.	31.5	0.70E-07
4.50	" "	55.	31.5	0.37E-06
			51.5	0.59E-06
			71.5	0.80E-06
7.50	" "	85.	31.5	0.28E-06
			51.5	0.65E-06
			71.5	0.72E-06
10.50	" "	90.	31.5	0.18E-06
			51.5	0.22E-06
			71.5	0.38E-06
14.00	" "	80.	31.5	0.55E-06
			51.5	0.95E-06
			71.5	0.85E-06

F SPR19
 XYZ 470.0 -775.0 36.58
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 20.50
 NA 15.50

P	ER	R	H	K
2.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	35.	25.5	0.18E-05
5.50	" " "	25.	25.5	0.95E-06
			35.5	0.75E-06
			65.5	0.68E-05
8.50	" " "	55.	25.5	0.14E-05
			35.5	0.85E-06
			65.5	0.95E-06
11.50	CALCAIRE	30.	25.5	0.15E-05
	"		35.5	0.11E-05
			65.5	0.12E-05
14.50	"	50.	25.5	0.70E-06
			35.5	0.45E-06
			65.5	0.83E-06
17.50	"	70.	25.5	0.24E-06
			35.5	0.21E-06
			65.5	0.26E-06

F SPR20
 XYZ 580.0 -860.0 37.9
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 8.00
 NA 13.50

P	ER	R	H	K
6.00	METASILTITE	35.	23.5	0.15E-05
9.00	"	32.	23.5	0.11E-05
			33.5	0.71E-05
			63.5	0.90E-06
12.00	ARDOISE + METASILTITE	26.	23.5	0.18E-05
			33.5	0.64E-06
			63.5	0.61E-06
15.00	" "	40.	23.5	0.93E-06
			33.5	0.64E-06
			63.5	0.11E-05

18.00	CALCAIRE	70.	23.5	0.10E-05
			33.5	0.77E-06
			63.5	0.10E-05
21.00	"	90.	23.5	0.31E-06
			33.5	0.31E-06
			63.5	0.48E-06
24.00	CALCAIRE + METASILTITE	65.	23.5	0.11E-05
			33.5	0.80E-06
			63.5	0.11E-05
27.00	" "	40.	23.5	0.11E-05
			33.5	0.81E-06
			63.5	0.10E-05
30.00	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	80.	23.5	0.77E-06
			33.5	0.38E-06
			63.5	0.58E-06

F SPR21
 XYZ 715.0 -860.0 41.4
 Ø BX
 PT 30.00
 EC 24.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	ARDOISE + METASILTITE	35.	35.5	0.78E-06
			38.5	0.54E-06
			58.5	0.44E-06
4.50	" "	50.	78.5	0.80E-06

F SPR22
 XYZ 855.0 -830.0 43.7
 Ø BX
 PT 20.00
 BC 16.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	20.	28.5	0.12E-05

F SPR23
 XYZ -145.0 120.0 24.8
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 6.50
 NA 4.80

P	ER	R	H	K
7.00	METASILTITE	20.	24.8	0.12E-05
10.00	"	25.	24.8	0.68E-05
			34.8	0.30E-05
			54.8	0.20E-05
13.00	CALCAIRE OOLITIQUE + METASILTITE	45.	24.8	0.28E-05
			34.8	0.14E-05
			54.8	0.10E-05
16.00	" " "	75.	24.8	0.47E-05
			34.8	0.32E-05
			54.8	0.22E-05
19.00	" " "	55.	24.8	0.65E-05
			34.8	0.34E-05
			54.8	0.35E-05
22.00	METASILTITE CALCIFERE + ARDOISE	65.	24.8	0.72E-05
			34.8	0.35E-05
			54.8	0.39E-05
25.00	" " "	85.	24.8	0.46E-05
			34.8	0.21E-05
			54.8	0.14E-05
28.00	" " "	96.	24.8	0.21E-05
			34.8	0.11E-05
			54.8	0.78E-06
31.50	" " "	95.	24.8	0.13E-05
			34.8	0.65E-06
			54.8	0.51E-06

F SPR24
 XYZ -140.0 0.0 2.3
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 7.00
 NA 3.00

P	ER	R	H	K
3.00	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	45.	13.6	0.10E-04
6.00	" " "	65.	13.6	0.72E-05
			33.6	0.50E-05
			53.6	0.60E-05
9.00	" " "	70.	13.6	0.34E-05
			33.6	0.28E-05
			53.6	0.34E-05
12.00	METASILTITE	90.	13.6	0.43E-05
			33.6	0.26E-06
			53.6	0.31E-06
15.00	METASILTITE + ARDOISE	93.	13.6	0.16E-05
			33.6	0.11E-05
			53.6	0.14E-05
18.00	" "	93.	13.6	0.20E-05
			33.6	0.12E-05
			53.6	0.14E-05
21.00	" "	94.	13.6	0.64E-05
			33.6	0.30E-05
			53.6	0.21E-05
24.00	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	81.	13.6	0.37E-05
			33.6	0.19E-05
			53.6	0.13E-05
27.00	" " "	80.	13.6	0.35E-05
			33.6	0.15E-05
			53.6	0.11E-05
30.00	" " "	81.	13.6	0.23E-05
			33.6	0.12E-05
			53.6	0.80E-06

32.00 METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE 93. 13.6 0.22E-05
 33.6 0.99E-06
 53.6 0.72E-06

F SPR25
 XYZ -140.0 -140.0 7.7
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 3.00
 NA 9.50

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	50.	15.0	0.14E-04
4.50	"	47.	18.0	0.44E-05
			38.0	0.29E-05
			58.0	0.32E-05
7.50	METASILTITE + ARDOISE CALCIFERE	80.	19.5	0.28E-05
			39.5	0.16E-05
			59.5	0.22E-05
10.50	" " "	85.	19.5	0.25E-05
			39.5	0.26E-05
			59.5	0.17E-05
13.50	" " "	75.	19.5	0.25E-05
			39.5	0.26E-05
			59.5	0.17E-05
16.50	ARDOISE + METASILTITE	60.	19.5	0.11E-05
			39.5	0.10E-05
			59.5	0.12E-05
19.50	" "	85.	19.5	0.31E-06
			39.5	0.28E-06
			59.5	0.34E-05
22.50	" "	95.	19.5	0.31E-06
			39.5	0.28E-06
			59.5	0.15E-05
25.50	" "	67.	19.5	0.15E-05
			39.5	0.25E-06
			59.5	0.13E-05

28.50	ARDOISE + METASILTITE	98.	19.5	0.38E-06
			39.5	0.27E-06
			59.5	0.40E-06
31.50	" "	100.	19.5	0.15E-06
			39.5	0.15E-06
			59.5	0.16E-06
34.50	" "	90.	19.5	0.36E-06
			39.5	0.34E-06
			59.5	0.39E-06

F SPR26
 XYZ -130.0 -290.0 1.3
 Ø BX
 PT 41.00
 EC 8.00
 NA 10.00

P	ER	R	H	K
4.50	ARDOISE + METASILTITE	40.	20.0	0.19E-04
7.50	" "	55.	20.0	0.42E-05
			40.0	0.28E-05
			60.0	0.35E-05
10.50	" "	80.	20.0	0.24E-05
			40.0	0.15E-05
			60.0	0.21E-05
13.50	" "	40.	20.0	0.26E-05
			40.0	0.17E-05
			60.00	0.24E-05
16.50	" "	45.	20.0	0.23E-05
			40.0	0.14E-05
			60.0	0.16E-05
19.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	70.	20.0	0.21E-05
			40.0	0.13E-05
			60.0	0.12E-05
22.50	" " "	95.	20.0	0.30E-06
			40.0	0.14E-06
			60.0	0.16E-06

25.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	100.	20.0	0.22E-06
			40.0	0.14E-06
			60.0	0.16E-06
28.50	" " "	100.	20.0	0.50E-08
			40.0	0.50E-08
			60.0	0.50E-08
31.50	" " "	100.	20.0	0.50E-08
			40.0	0.50E-08
			60.0	0.50E-08

F SPR27
 XYZ -80.0 -445.0 17.7
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 5.00
 NA 8.00

P	ER	R	H	K
2.50	METASILTITE + ARDOISE	50.	17.5	0.14E-04
5.50	" "	90.	18.0	0.15E-05
			38.0	0.14E-05
			58.0	0.16E-05
8.50	" "	65.	18.0	0.33E-05
			38.0	0.21E-05
			58.0	0.26E-05
11.50	" "	40.	18.0	0.33E-05
			38.0	0.21E-05
			58.0	0.31E-05
14.50	METASILTITE CALCIFÈRE	80.	18.0	0.31E-05
			38.0	0.16E-05
			58.0	0.23E-05
17.50	" "	70.	18.0	0.19E-05
			38.0	0.14E-05
			58.0	0.16E-05
20.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFÈRE	75.	18.0	0.26E-05
			38.0	0.14E-05
			58.0	0.22E-05
23.50	" " "	50	18.0	0.20E-05
			38.0	0.14E-05
			58.0	0.24E-05

26.50	ARDOISE + METASILTITE CALCIFERE	55.	18.0	0.23E-05
			38.0	0.15E-05
			58.0	0.21E-05
29.50	METASILTITE CALCIFERE	85.	18.0	0.10E-05
			38.0	0.58E-06
			58.0	0.28E-06
33.00	" "	85.	18.0	0.40E-06
			38.0	0.28E-06
			58.0	0.34E-06

F SPR28
 XYZ -190.0 -168.0 7.8
 XYZ BX
 PT 15.0
 EC 3.00
 NA 3.10

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE + ARDOISE	30.	13.1	0.60E-05
4.50	" "	65.	13.1	0.58E-05
			33.1	0.33E-05
			53.1	0.22E-05
7.50	" "	55.	13.1	0.34E-05
			33.1	0.22E-05
			53.1	0.16E-05
10.50	" "	45	13.1	0.19E-05
			33.1	0.14E-05
			53.1	0.10E-05

B. SANTA MARIA
 E. DISTRITO FEDERAL
 L. BRASILIA
 R. D.A.E. NOVACAP
 E. SONDOTÉCNICA
 A. 1968
 F. SPR1
 XYZ -25.0 -265.0 28.3
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 1.00
 NA 1.10

P	ER	R	H	K
3.00	ARDOISE	22.	21.1	0.16E-04
6.00	"	15.	21.1	0.16E-04
9.00	"	7.	21.1	0.51E-06
12.00	"	17.	21.1	0.76E-06
15.00	"	13.	21.1	0.10E-05
18.00	"	7.	21.1	0.50E-06

F SPR2
 XYZ -25.0 -154.5 16.0
 Ø AX
 PT 25.00
 EC 14.00
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
1.50	ARDOISE	10.	10.0	0.70E-06
4.50	"	7.	10.0	0.13E-06
7.50	"	7.	10.0	0.50E-06
10.00	"	10.	10.0	0.12E-06

F SPR3
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 25.00
 EC 5.55
 NA 0.70

P	ER	R	H	K
1.50	ARDOISE	7.	10.7	0.60E-05
4.50	"	10.	10.7	0.19E-05
7.50	"	3.	10.7	0.10E-05
10.50	"	7.	10.7	0.75E-06
13.50	"	15.	10.7	0.47E-06
16.50	"	12.	10.7	0.29E-06
18.00	"	7.	10.7	0.21E-06

F SPR4
 XYZ -25.0 194.5 2.2
 Ø AX
 PT 25.00
 EC 8.00
 NA 1.00

p	ER	R	H	K
1.50	ARDOISE	7.	11.0	0.62E-06
4.50	"	7.	11.0	0.58E-06
7.50	"	22.	11.0	0.41E-06
10.50	"	7.	11.0	0.29E-06
13.50	"	7.	11.0	0.41E-06
16.50	"	10.	11.0	0.36E-06

F SPR5
 XYZ -25.0 259.0 25.0
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 18.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.00	ARDOISE	10.	10.0	0.30E-06

B. BENEDITO II
 E. SANTA CATARINA
 L. VALE DO RIO ITAJAI
 R. BENEDITO
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1961

F R1
 XYZ 0.0 -160.0 40.4
 PT 29.50
 EC 9.00
 NA 11.40

P	ER	R	H	K
11.00	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	65.	61.0	0.11E-05
14.00	" " "	75.	61.4	0.41E-06
17.00	" " "	95.	61.4	0.39E-06
20.00	" " "	80.	61.4	0.22E-06
23.00	" " "	87.	61.4	0.69E-07
26.00	" " "	100.	61.4	0.29E-06
29.00	" " "	95.	61.4	0.72E-07

F R3
 XYZ 0.0 -80.0 5.2
 Ø AX
 PT 29.70
 EC 6.00
 NA 4.70

P	ER	R	H	K
11.50	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	86.	54.7	0.53E-07
14.50	" " "	100.	54.7	0.50E-07
17.50	" " "	83.	54.7	0.89E-07
20.50	" " "	98.	54.7	0.20E-06

23.50	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	98.	54.7	0.66E-07
26.50	"	90.	54.7	0.50E-07
28.85	"	86.	54.7	0.50E-07

F R4
 XYZ 0.0 -40.0 0.4
 Ø AX
 PT 50.00
 EC 4.00
 NA 1.50

P	ER	R	H	K
5.50	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	80.	51.5	0.87E-07
8.50	"	70.	51.5	0.90E-07
11.50	"	91.	51.5	0.94E-07
14.50	"	99.	51.5	0.50E-07
17.50	"	97.	51.5	0.74E-07
20.50	"	96.	51.5	0.15E-06
23.50	"	68.	51.5	0.56E-07
26.50	"	96.	51.5	0.50E-07
29.50	"	92.	51.5	0.14E-06
32.50	"	94.	51.5	0.50E-07
35.50	"	96.	51.5	0.76E-07
38.50	"	96.	51.5	0.75E-07
41.50	"	92.	51.5	0.20E-06
44.50	"	92.	51.5	0.70E-07
47.50	"	100.	51.5	0.50E-07

F R5
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 50.00
 EC 6.60
 NA 0.80

P	ER	R	H	K
11.00	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	49.	50.8	0.23E-06
14.00	"	42.	50.8	0.26E-06
17.00	"	60.	50.8	0.46E-06
20.00	"	70.	50.8	0.23E-06
23.00	"	92.	50.8	0.19E-06
26.00	"	84.	50.8	0.50E-07
29.00	"	48.	50.8	0.84E-07
32.00	"	92.	50.8	0.50E-07
35.00	"	84.	50.8	0.72E-07
38.00	"	50.	50.8	0.50E-07
41.00	"	64.	50.8	0.94E-07
44.00	"	70.	50.8	0.52E-07
47.00	"	70.	50.8	0.50E-07

F R6
 XYZ 0.0 40.0 9.9
 Ø AX
 PT 30.00
 EC 24.00
 NA 15.83

P	ER	R	H	K
25.50	HORNBLLENDE-BIOTITE-GNEISS	8.	50.8	0.58E-06
28.50	"	12.	50.8	0.17E-05

B. CLAUDIO LEITAO
 E. CEARÁ
 L. ACOPIARA
 R. OITIS
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1964

F R1
 XYZ 0.0 80.0 24.0
 Ø AX
 PT 10.60
 EC -
 NA -

P	ER	R	H	K
1.00	GNEISS GRANITISE	14.	14.2	0.18E-05
3.20	" "	11.	16.3	0.12E-05
5.30	" "	9.	18.5	0.90E-06

F R2
 XYZ 0.0 40.0 14.0
 Ø AX
 PT 14.15
 EC -
 NA -

P	ER	R	H	K
1.80	GNEISS GRANITISE	42.0	12.8	0.14E-05
3.90	" "			

F R3
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 17.70
 EC 2.10
 NA 1.70

P	ER	R	H	K
1.40	GNEISS GRANITISE	8.	12.8	0.20E-05
7.10	" "	11.	12.8	0.10E-05

F R4
 XYZ 0.0 -40.0 1.0
 Ø AX
 PT 31.00
 EC 2.00
 NA 0.15

P	ER	R	H	K
2.00	GNEISS GRANITISE	5.	10.0	0.28E-05
5.00	" "	0.	10.0	0.21E-05
8.00	" "	0.	10.0	0.11E-05
14.00	" "	10.	10.0	0.88E-06
17.00	" "	8.	10.0	0.61E-06
23.00	" "	0.	10.0	0.11E-05

F R5
 XYZ 0.0 -80.0 9.0
 Ø AX
 PT 14.15
 EC -
 NA -

P	ER	R	H	K
4.95	GNEISS GRANITISE	42.	15.6	0.95E-06
7.10	" "	42.	17.8	0.72E-06
9.20	" "	70.	24.0	0.47E-06
11.30	" "	63.	27.0	0.42E-06

F R6
 XYZ 0.0 -120.0 18.5
 Ø AX
 PT 10.60
 EC -
 NA -

P	ER	R	H	K
3.90	GNEISS GRANITISÉ	42.	13.5	0.30E-05
6.00	" "	56.	15.6	0.12E-05
8.15	" "	7.	17.8	0.13E-05
9.60	" "	9.	19.2	0.75E-06

B. IGARAPAVA
 E. MINAS GERAIS
 L. IGARAPAVA
 R.
 C. CEMIG
 E. SONDOTÉCNICA
 A. 1965

F R1
 XYZ -
 Ø AX
 PT 15.00
 EC 6.75
 NA 4.05

P	ER	R	H	K
2.00	BASALTE	30.	14.0	0.22E-05
5.50	"	40.	14.0	0.14E-04

F R2
 XYZ -
 Ø AX
 PT 33.00
 EC 5.15
 NA 3.35

P	ER	R	H	K
2.50	BASALTE	70.	13.3	0.36E-05
5.50	"	100.	13.3	0.50E-08
8.50	"	100.	13.3	0.36E-05
11.50	"	95.	13.3	0.50E-08
14.50	"	100.	13.3	0.13E-06
17.50	"	96.	13.3	0.50E-08
20.50	"	97.	13.3	0.40E-06
23.50	"	98.	13.3	0.66E-07
26.50	"	98.	13.3	0.50E-08

F R3
 XYZ -
 Ø AX
 PT 41.00
 EC 10.30
 NA 2.75

P	ER	R	H	K
5.50	BASALTE	60.	12.7	0.80E-05
8.50	"	70.	12.7	0.25E-04
11.50	"	85.	12.7	0.26E-04
14.50	"	90.	12.7	0.50E-08
17.50	"	100.	12.7	0.50E-08
20.50	"	85.	12.7	0.50E-08
23.50	"	85.	12.7	0.50E-08
26.50	"	95.	12.7	0.16E-05
29.50	"	100.	12.7	0.34E-06

F R4
 XYZ -
 Ø AX
 PT 40.00
 EC 9.00
 NA 0.10

P	R	H	K	
1.50	BASALTE	45.	10.1	0.26E-05
4.50	"	100.	10.1	0.50E-08
7.50	"	100.	10.1	0.90E-07
10.50	"	100.	10.1	0.13E-05
13.50	"	100.	10.1	0.78E-06
16.50	"	78.	10.1	0.11E-04
19.50	"	50.	10.1	0.54E-05
22.50	"	20.	10.1	0.15E-04
25.50	"	50.	10.1	0.78E-04
28.50	"	100.	10.1	0.50E-08

F R5
 XYZ -
 Ø AX
 PT 41.00
 EC 3.30
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
3.00	BASALTE	90.	10.0	0.16E-04
6.00	"	100.	10.0	0.50E-08
9.00	"	100.	10.0	0.50E-08
12.00	"	100.	10.0	0.13E-05
15.00	"	100.	10.0	0.90E-06
18.00	"	75.	10.0	0.41E-05
21.00	"	100.	10.0	0.50E-08
24.00	"	100.	10.0	0.22E-06
27.00	"	100.	10.0	0.87E-07
30.00	"	100.	10.0	0.17E-07
33.00	"	95.	10.0	0.17E-07
36.00	"	95.	10.0	0.50E-08

B. SUBIDA
 E. SANTA CATARINA
 L. VALE DO RIO ITAJAI
 R. ITAJAI-AÇÚ
 C. D.N.O.S.
 E. SONDOTECNICA
 A. 1961

F R1
 XYZ 0.0 220.7 63.0
 Ø AX
 PT 47.45
 EC 24.15
 NA 8.90

P	ER	R	H	K
39.50	ARKOSE	100.	58.9	0.10E-06
42.50	"	100.	58.9	0.50E-07
45.50	"	100.	58.9	0.50E-07

F R2
 XYZ 0.0 177.7 44.6
 Ø AX
 PT 38.35
 EC 31.00
 NA 24.30

P	ER	R	H	K
32.50	ARKOSE	80.	74.3	0.13E-06
35.50	"	80.	74.3	0.83E-07

F R4
 XYZ 0.0 90.0 9.1
 Ø AX
 PT 28.00
 EC 18.00
 NA 17.30

P	ER	R	H	K
19.50	ARKOSE	55.	67.3	0.21E-06
22.50	"	100.	67.3	0.95E-07
25.50	"	100.	67.3	0.16E-06

F R5
 XYZ 0.0 45.0 3.8
 Ø AX
 PT 30.06
 EC 3.00
 NA -

P	ER	R	H	K
4.50	CONGLOMERAT	18.	54.5	0.85E-06
7.50	"	95.	57.5	0.65E-06
10.50	"	56.	60.5	0.58E-06
21.50	ARKOSE	68.	71.5	0.90E-07
24.50	"	82.	72.7	0.50E-07
27.50	"	98.	72.7	0.67E-07

F R6
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 14.00
 EC 3.90
 NA -

P	ER	R	H	K
5.50	CONGLOMÉRAT	95.	55.5	0.53E-07
8.50	"	92.	58.5	0.62E-07
11.50	"	100.	61.5	0.50E-07

F	R7
XYZ	0.0 -50.2 0.3
∅	AX
PT	50.05
EC	0.60
NA	31.30

P	ER	R	H	K
2.10	ARKOSE	95.	52.1	0.13E-05
5.10	"	98.	55.1	0.43E-06
8.10	"	100.	58.1	0.20E-06
11.10	"	100.	61.1	0.10E-06
14.10	"	100.	64.1	0.18E-06
17.10	"	100.	67.1	0.50E-07
20.10	"	100.	70.1	0.96E-07
23.10	"	100.	73.1	0.64E-07
26.10	"	100.	76.1	0.50E-07
29.10	"	100.	79.1	0.79E-07
32.10	"	100.	81.3	0.50E-07
35.10	"	100.	81.3	0.58E-07
38.10	"	100.	81.3	0.62E-07
41.10	"	90.	81.3	0.50E-07
44.10	"	90.	81.3	0.84E-07
47.10	"	80.	81.3	0.54E-07

F	R8
XYZ	0.0 -90.2 20.1
∅	AX
PT	16.05
EC	6.00
NA	10.15

P	ER	R	H	K
7.50	ARKOSE	100.	57.5	0.70E-07
10.50	"	100.	60.1	0.50E-07
13.50	"	100.	60.1	0.50E-07

F	R9
XYZ	0.0 -143.3 39.9
∅	AX
PT	27.00
EC	4.50
NA	7.70

P	ER	R	H	K
7.50	ARKOSE	100.	57.5	0.61E-06
10.50	"	60.	57.7	0.40E-06
13.50	"	60.	57.7	0.83E-06
16.50	PELITE	98.	57.7	0.31E-06
19.50	ARKOSE	100.	57.7	0.50E-07
22.50	"	70.	57.7	0.88E-07
25.50	"	100.	57.7	0.92E-07

F	R10
XYZ	0.0 -185.2 58.8
∅	AX
PT	20.25
EC	1.40
NA	14.20

P	ER	R	H	K
7.50	ARKOSE	80.	57.5	0.61E-06
10.50	"	90.	60.5	0.18E-06
13.50	"	60.	63.5	0.80E-07
16.50	"	93.	64.2	0.50E-07

B. RIO DO PEIXE - 1º SALTO
 E. MINERAIS GERAIS
 L. JUIZ DE FORA
 R. PEIXE
 C. HIDRONACIONAL
 E. SONDOTECNICA
 A. 1965

F S1
 XYZ 0.0 100.0 63.1
 Ø AX
 PT 21.60
 EC 15.20
 NA 9.10

P	ER	R	H	K
1.30	BIOTITE GNEISS GRANATIFÈRE	92.	21.1	0.50E-08
3.90	" " "	99	21.1	0.50E-08
5.64	" " "	99.	21.1	0.50E-08

F S2
 XYZ 0.0 52.0 28.5
 Ø AX
 PT 26.00
 EC 0.86
 NA 14.20

P	ER	R	H	K
3.03	BIOTITE GNEISS GRANATIFÈRE	78.	13.0	0.12E-04
5.62	" " "	90.	15.6	0.13E-05
8.25	" " "	95.	18.2	0.42E-06
10.85	" " "	90.	20.8	0.50E-08
13.45	" " "	90.	34.2	0.16E-06
16.05	" " "	95.	34.2	0.50E-08
18.65	" " "	96.	34.2	0.50E-08
21.25	" " "	97.	34.2	0.50E-08
23.85	" " "	98.	34.2	0.50E-08

F S3
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø AX
 PT 34.60
 EC -
 NA 0.00

P	ER	R	H	K
1.30	BIOTITE GNEISS GRANITIFÈRE	99.	10.0	0.50E-08
3.90	" " "	95.	10.0	0.50E-08
6.50	" " "	100.	10.0	0.50E-08
9.10	" " "	98.	10.0	0.50E-08
11.70	" " "	80.	10.0	0.50E-08
14.30	" " "	80.	10.0	0.50E-08
16.90	" " "	99.	10.0	0.50E-08
19.50	" " "	100.	10.0	0.50E-08
22.10	" " "	100.	10.0	0.50E-08
24.70	" " "	100.	10.0	0.50E-08
27.30	" " "	100.	10.0	0.50E-08
29.90	" " "	100.	10.0	0.50E-08
32.50	" " "	100.	10.0	0.50E-08

F S4
 XYZ 0.0 -75.0 32.1
 Ø AX
 PT 26.00
 EC 3.30
 NA 1.80

P	ER	R	H	K
3.03	BIOTITE GNEISS GRANITIFÈRE	70.	11.8	0.75E-05
5.63	" " "	90.	11.8	0.50E-08
8.23	" " "	91.	11.8	0.50E-08
10.83	" " "	92.	11.8	0.50E-08
13.43	" " "	93.	11.8	0.50E-08
16.03	" " "	95.	11.8	0.50E-08

18.63	BIOTITE GNEISS	GRANITIFERE	85.	11.8	0.50E-08
21.23	"	"	80.	11.8	0.50E-08

F S5
 XYZ 0.0 -128.0 63.9
 Ø AX
 PT 21.60
 EC 6.60
 NA 10.00

P	ER	R	H	K	
1.40	BIOTITE GNEISS	GRANITIFERE	78.	15.6	0.18E-05
3.50	"	"	95.	20.0	0.28E-06
5.60	"	"	78.	20.0	0.64E-06
7.70	"	"	82.	20.0	0.70E-06
9.80	"	"	90.	20.0	0.50E-08
11.90	"	"	95.	20.0	0.50E-08

B. AIMORÉS
 E. MINAS GERAIS
 L. AIMORÉS
 R.
 C. CEMIG
 E. SONDOTECNICA
 A. 1965

F D
 XYZ -
 Ø AX
 PT 16.00
 EC 7.00
 NA 7.10

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	85.	17.1	0.25E-06
4.50	"	90.	17.1	0.51E-07
7.50	"	100.	17.1	0.51E-07

F 14
 XYZ -
 Ø AX
 PT 23.00
 EC 11.00
 NA 11.10

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	85.	21.1	0.41E-07
4.50	"	90.	21.1	0.41E-07
7.50	"	100.	21.1	0.21E-07
10.50	"	100.	21.1	0.41E-07

F 15
 XYZ -
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 5.00
 NA 10.20

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	25.	16.5	0.11E-05
4.50	"	70.	19.5	0.29E-06
7.50	"	78.	20.2	0.20E-06
10.50	"	95.	20.2	0.80E-07
13.50	"	100.	20.2	0.40E-07

F 16
 XYZ -
 Ø 25.00
 EC 10.00
 NA 10.20

P	ER	R	H	K
4.50	GNEISS	82.	20.2	0.11E-06
7.50	"	90.	20.2	0.21E-07
10.50	"	90.	20.2	0.43E-07
13.50	"	100.	20.2	0.43E-07

F 18
 XYZ -
 Ø AX
 PT 16.00
 EC 7.00
 NA -

P	ER	H	H	K
1.50		85.	18.5	0.12E-06
4.50	"	100.	21.5	0.41E-07
7.50	"	100.	24.5	0.35E-07

F 19
 XYZ -
 Ø AX
 PT 22.00
 EC 10.00
 NA 10.40

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	50.	20.4	0.79E-06
4.50	"	42.	20.4	0.19E-06
7.50	"	90.	20.4	0.36E-07
10.50	"	100.	20.4	0.40E-07

F 20
 XYZ -
 Ø AX
 PT 20.00
 EC 8.00
 NA 8.30

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	45.	18.3	0.12E-06
4.50	"	90.	18.3	0.47E-07
7.50	"	85.	18.3	0.49E-07
10.50	"	100.	18.3	0.49E-07

F 21
 XYZ -
 Ø AX
 PT 11.00
 EC 2.00
 NA 2.10

P	ER	R	H	K
1.50	GNEISS	85.	12.1	0.74E-07
4.50	"	90.	12.1	0.25E-07
7.50	"	100.	12.1	0.36E-07

B. QUEIMADO
 E. BRASILIA
 L.
 R. RIO PRETO
 C. NOVACAP
 E. SONDOTECNICA
 A. 1966

F SPR1
 XYZ -71.0 104.0 37.1
 Ø BX
 PT 30.00
 EC 4.20
 NA -

P	ER	R	H	K
2.00	METASILTITE	33.	17.5	0.25E-05
5.00	"	34.	20.5	0.12E-05
			40.5	0.12E-05
			60.5	0.15E-05
8.00	"	28.	23.5	0.85E-06
			43.5	0.12E-05
			63.5	0.12E-05
11.00	"	16.	26.5	0.12E-05
			46.5	0.14E-05
			66.5	0.17E-05
14.00	"	9.	29.5	0.14E-06
			49.5	0.56E-06
			69.5	0.64E-06
17.00	METASILTITE + ARDOISE	20.	32.5	0.16E-05
			52.5	0.13E-05
			72.5	0.24E-05
20.00	"	50.	35.5	0.11E-05
			55.5	0.10E-05
			75.5	0.13E-05
23.00	"	87.	38.5	0.72E-07
			58.5	0.70E-07
			78.5	0.80E-07

F SPR2
 XYZ -41.0 154.0 31.8
 Ø BX
 PT 30.00
 EC 18.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	70.	29.5	0.14E-05
4.50	"	72.	32.5	0.11E-05
			52.5	0.68E-06
			72.5	0.62E-06
7.50	"	55.	35.5	0.46E-06
			55.5	0.53E-06
			75.5	0.81E-06
10.50	"	53.	38.5	0.28E-06
			58.5	0.36E-06
			78.5	0.52E-06

F SPR3
 XYZ -25.0 120.0 36.6
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 6.00
 NA -

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	68.	17.5	0.29E-05
4.50	"	42.	20.5	0.16E-05
			40.5	0.93E-06
			60.5	0.70E-06
7.50	"	18.	23.5	0.12E-05
			43.5	0.69E-05
			63.5	0.50E-06
10.50	"	19.	26.5	0.75E-06
			46.5	0.48E-06
			66.5	0.38E-06
13.50	"	24.	29.5	0.20E-06
			49.5	0.24E-06
			69.5	0.20E-06

16.50	METASILTITE	38.	32.5	0.16E-06
			52.5	0.11E-06
			72.5	0.11E-06
19.50	"	62.	35.5	0.15E-06
			55.5	0.11E-06
			75.5	0.10E-06
22.50	"	75.	38.5	0.84E-07
			58.5	0.70E-07
			78.5	0.65E-07
25.50	"	90.	41.5	0.41E-07
			61.5	0.32E-06
			81.5	0.24E-06
28.50	"	96.	44.5	0.28E-07
			64.5	0.23E-07
			84.5	0.24E-07
31.50	"	96.	47.5	0.50E-08
			67.5	0.70E-08
			87.5	0.85E-08

F SPR4
 XYZ -10.0 81.0 27.5
 Ø BX
 PT 35.00
 EC 6.00
 NA -

P		ER	R	H	K
1.50	METASILTITE		37.	17.5	0.13E-05
4.50	"		44.	20.5	0.11E-05
				40.5	0.60E-06
				60.5	0.49E-06
7.50	"		45.	23.5	0.80E-06
				43.5	0.60E-06
				63.5	0.45E-06

10.50	METASILTITE	40.	26.5	0.67E-06
			46.5	0.46E-06
			66.5	0.65E-06
13.50	"	31.	29.5	0.36E-05
			49.5	0.31E-06
			69.5	0.34E-06
16.50	"	18.	32.5	0.36E-06
			52.5	0.25E-06
			72.5	0.20E-06
19.50	"	43.	35.5	0.20E-06
			55.5	0.21E-06
			75.5	0.24E-06
22.50	"	63.	38.5	0.17E-06
			58.5	0.11E-06
			78.5	0.95E-07
25.50	"	67.	41.5	0.11E-06
			61.5	0.70E-07
			81.5	0.62E-07

F SPR5
 XYZ -2.0 49.0 10.0
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 5.50
 NA 9.50

P		ER	R	H	K
2.00	METASILTITE		53.	17.5	0.54E-05
5.00	METASILTITE + ARDOISE		85.	19.5	0.29E-05
				39.5	0.28E-05
				59.5	0.29E-05
8.00	"		85.	19.5	0.66E-07
				39.5	0.60E-07
				59.5	0.89E-07
11.00	METASILTITE		55.	19.5	0.68E-06
				39.5	0.19E-05
				59.5	0.15E-05

14.00	METASILTITE + ARDOISE	50.	19.5	0.38E-06
			39.5	0.93E-06
			59.5	0.11E-05
17.00	METASILTITE	75.	19.5	0.58E-07
			39.5	0.60E-07
			59.5	0.72E-07
20.00	METASILTITE + ARDOISE	68.	19.5	0.27E-06
			39.5	0.18E-06
			59.5	0.94E-06
23.00	" "	85.	19.5	0.94E-07
			39.5	0.16E-06
			59.5	0.30E-06
26.00	" "	90.	19.5	0.54E-07
			39.5	0.69E-07
			59.5	0.13E-06
29.00	" "	86.	19.5	0.39E-07
			39.5	0.62E-07
			59.5	0.90E-07

F SPR6
 XYZ 0.0 0.0 0.0
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 2.20
 NA 4.20

P	ER	R	H	K
3.00	ARDOISE + METASILTITE	42.	14.2	0.70E-05
			34.2	0.47E-05
			54.2	0.34E-05
6.00	" "	32.	14.2	0.10E-04
			34.2	0.54E-05
			54.2	0.42E-05
9.00	ARDOISE	30.	14.2	0.10E-05
			34.2	0.32E-05
			54.2	0.32E-05

12.00	ARDOISE	33.	14.2	0.46E-06
			34.2	0.57E-06
			54.2	0.68E-06
15.00	"	65.	14.2	0.70E-07
			34.2	0.16E-06
			54.2	0.16E-06
18.00	"	90.	14.2	0.16E-07
			34.2	0.35E-07
			54.2	0.46E-07
21.00	"	100.	14.2	0.15E-07
			34.2	0.19E-07
			54.2	0.22E-07
24.00	"	100.	14.2	0.50E-08
			34.2	0.11E-07
			54.2	0.13E-07
27.00	"	100.	14.2	0.50E-08
			34.2	0.50E-08
			54.2	0.79E-08
30.00	"	99.	14.2	0.50E-08
			34.2	0.50E-08
			54.2	0.90E-08
33.00	"	95.	14.2	0.50E-08
			34.2	0.50E-08
			54.2	0.60E-08
36.00	"	99.	14.2	0.50E-08
			34.2	0.50E-08
			54.2	0.52E-08

F SPR7
 XYZ -6.0 -38.0 15.6
 Ø BX
 PT 40.00
 EC 4.50
 NA 18.50

P	ER	R	H	K
1.00	METASILTITE	25.	17.5	0.16E-05
			37.5	0.16E-05
			57.5	0.21E-05
4.00	"	24.	20.5	0.11E-05
			40.5	0.16E-05
			60.5	0.16E-05
7.00	"	23.	23.5	0.76E-06
			43.5	0.11E-05
			63.5	0.41E-05
10.00	METASILTITE	40.	26.5	0.26E-05
			46.5	0.32E-05
			66.5	0.42E-05
13.00	ARDOISE	75.	28.5	0.25E-06
			48.5	0.15E-06
			68.5	0.55E-06
16.00	"	77.	28.5	0.55E-06
			48.5	0.16E-06
			68.5	0.21E-06
19.00	"	75.	28.5	0.62E-07
			48.5	0.16E-06
			68.5	0.22E-06
22.00	"	80.	28.5	0.35E-06
			48.5	0.70E-07
			68.5	0.11E-06
25.00	"	75.	28.5	0.12E-07
			48.5	0.20E-07
			68.5	0.42E-07
28.00	"	90.	28.5	0.12E-07
			48.5	0.19E-07
			68.5	0.32E-07
31.00	"	85.	28.5	0.50E-08
			48.5	0.56E-08
			68.5	0.85E-08

F	SPR8		
XYZ	-12.0	-105.0	24.8
Ø	BX		
PT	35.00		
EC	3.00		
NA	16.00		

P	ER	R	H	K
9.50	METASILTITE	18.	22.5	0.35E-05
12.50	"	32.	45.5	0.91E-05
			65.5	0.91E-05
15.50	"	35.	26.00	0.78E-06
			46.00	0.61E-06
			66.00	0.65E-06
18.50	"	38.	26.00	0.52E-06
			46.0	0.58E-06
			66.0	0.62E-06
21.50	"	25.	26.0	0.52E-06
			46.0	0.59E-06
			66.0	0.61E-06
24.50	"	70.	26.0	0.21E-06
			46.0	0.19E-06
			66.0	0.20E-06
27.50	"	65.0	26.0	0.11E-06
			46.0	0.12E-06
			66.0	0.11E-06
30.50	"	35.	26.0	0.51E-07
			46.0	0.58E-07
			66.0	0.65E-07

F	SPR9		
XYZ	21.0	-165.0	35.3
Ø	BX		
PT	30.00		
EC	5.30		
NA	16.00		

P	ER	R	H	K
1.50	METASILTITE	24.	17.5	0.52E-05
4.50	"	28.	20.5	0.16E-05
			40.5	0.11E-05
			60.5	0.11E-05
7.50	"	23.	23.5	0.10E-05
			43.5	0.72E-06
			63.5	0.81E-06
10.50	"	22.	26.0	0.10E-05
			46.0	0.89E-06
			66.0	0.85E-05
13.50	"	20.	26.0	0.69E-06
			46.0	0.62E-06
			66.0	0.72E-06
16.50	"	22.	26.0	0.53E-06
			46.0	0.40E-06
			66.0	0.45E-06
19.50	"	25.	26.0	0.60E-06
			46.0	0.61E-06
			66.0	0.68E-06
22.50	"	40.	26.0	0.24E-06
			46.0	0.23E-06
			66.0	0.30E-06

F SPR10
 XYZ 102.0 -256.0 34.4
 Ø BX
 PT 30.00
 EC 2.29
 NA 16.30

P	ER	R	H	K
16.50	METASILTITE	15.	26.3	0.35E-05
19.50	"	15.	26.3	0.12E-05
			46.3	0.98E-06
			66.3	0.92E-06

22.50	METASILTITE	40.	26.3	0.71E-06
			46.3	0.70E-06
			66.3	0.71E-06
25.50	"	30.	26.3	0.23E-06
			46.3	0.37E-06
			66.3	0.45E-06
28.50	"	55.	26.3	0.19E-06
			46.4	0.19E-06
			66.3	0.30E-06

F SPR11
 XYZ 133.0 -280.0 27.2
 Ø BX
 PT 35.00
 EC 8.00
 NA 10.00

P	ER	R	H	K
2.50	METASILTITE	35.	20.0	0.35E-05
5.50	"	32.	20.0	0.12E-05
			40.0	0.11E-06
			60.0	0.10E-05
8.50	"	80.	20.0	0.64E-06
			40.0	0.52E-06
			60.0	0.54E-06
11.50	"	99.	20.0	0.24E-06
			40.0	0.26E-06
			60.0	0.34E-06
14.50	"	85.	20.0	0.47E-06
			40.0	0.41E-06
			60.0	0.44E-06
17.50	METASILTITE + ARDOISE	98.	20.0	0.21E-06
			40.0	0.18E-06
			60.0	0.25E-06
20.50	"	100.	20.0	0.50E-08
			40.0	0.50E-08
			60.0	0.25E-06

23.50	METASILTITE	98.	20.0	0.50E-08
			40.0	0.50E-08
			60.0	0.50E-08
26.50	"	100.	20.0	0.50E-08
			40.0	0.50E-08
			60.0	0.50E-08

F SPR12
 XYZ 171.0 -290.0 12.5
 Ø BX
 PT 35.00
 EC 3.80
 NA 8.30

P	ER	R	H	K
3.70	METASILTITE	38.	18.3	0.30E-05
6.70	"	70.	18.3	0.27E-05
			38.3	0.16E-05
			58.3	0.11E-05
9.70	METASILTITE + ARDOISE	75.	18.3	0.19E-05
			38.3	0.36E-05
			59.3	0.11E-05
12.70	" "	82.	18.3	0.88E-06
			38.3	0.67E-06
			58.3	0.61E-06
15.70	" "	95.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.30E-07
			58.3	0.36E-07
18.70	" "	100.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.28E-07
			58.3	0.34E-07
21.70	" "	100.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.50E-08
			58.3	0.50E-08
24.70	" "	100.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.13E-08
			58.3	0.19E-07

27.70	METASILTITE + ARDOISE	100.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.16E-07
			58.3	0.24E-07
30.70	" "	100.	18.3	0.50E-08
			38.3	0.50E-08
			58.3	0.50E-08

F SPR13
 XYZ 236.0 -280.0 27.8
 Ø BX
 PT 35.00
 EC 7.70
 NA 13.50

P	ER	R	H	K
6.00	METASILTITE	30.	13.5	0.35E-05
9.00	"	43.	23.5	0.20E-05
			43.5	0.15E-05
			63.5	0.12E-05
12.00	"	20.	23.5	0.14E-05
			43.5	0.11E-05
			63.5	0.85E-06
15.00	ARDOISE	40.	23.5	0.50E-05
			43.5	0.75E-06
			63.5	0.72E-06
18.00	"	80.	23.5	0.46E-06
			43.5	0.40E-06
			63.5	0.42E-06
21.00	"	99.	23.5	0.50E-08
			43.5	0.50E-08
			63.5	0.50E-08
23.00	"	99.	23.5	0.50E-08
			43.5	0.50E-08
			63.5	0.50E-08
26.00	"	100.	23.5	0.50E-08
			43.5	0.50E-08
			63.5	0.50E-08

F SPR14
 XYZ 290.0 -255.0 37.2
 Ø BX
 PT 30.00
 EC 4.45
 NA 14.10

P	ER	R	H	K
0.00	METASILTITE	25.	24.1	0.15E-05
			44.1	0.12E-05
			64.1	0.12E-05
3.00	"	20.	24.1	0.74E-06
			44.1	0.63E-06
			64.1	0.66E-06
6.00	ARDOISE	55.	24.1	0.63E-07
			44.1	0.72E-07
			64.1	0.80E-07
9.00	METASILTITE	70.	24.1	0.24E-06
			44.1	0.19E-06
			64.1	0.14E-06

F SPR15
 XYZ 150.0 -193.0 5.3
 Ø BX
 PT 30.00
 EC -
 NA 0.10

P	ER	R	H	K
2.00	METASILTITE	65.	10.1	0.42E-05
5.00	"	85.	10.1	0.17E-06
			30.1	0.70E-07
			50.1	0.88E-07
8.00	"	90.	10.1	0.22E-05
			30.1	0.13E-05
			50.1	0.12E-05

11.00	METASILTITE + ARDOISE	85.	10.1	0.56E-06
			30.1	0.46E-06
			50.1	0.56E-06
14.00	" "	69.	10.1	0.63E-06
			30.1	0.45E-06
			50.1	0.76E-06
17.00	" "	98.	10.1	0.17E-06
			30.1	0.22E-06
			50.1	0.28E-06
20.00	" "	92.	10.1	0.50E-08
			30.1	0.20E-07
			50.1	0.28E-06
23.00	METASILTITE	98.	10.1	0.50E-08
			30.1	0.14E-07
			50.1	0.23E-06
26.00	"	100.	10.1	0.50E-08
			30.1	0.50E-08
			50.1	0.50E-08
29.00	"	98.	10.1	0.50E-08
			30.1	0.50E-08
			50.1	0.50E-08

BIBLIOTHÈQUE
 GRENOBLE-SCIENCES
 UNIVERSITAIRE