

# THESE

66/77348  
611918

présentée à

L'U.F.R. DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

pour obtenir le

DIPLOME DE DOCTEUR  
DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE  
EN SCIENCES DE LA TERRE

## RELATIONS ENTRE LA FRACTURATION ET LA PERMEABILITE EN PAYS CALCAIRE.

ETUDES EN LABORATOIRE ET IN SITU, A L'AIDE DES OUTILS  
HYDRAULIQUES ET DIAGRAPHIQUES (DOUBS, FRANCHE-COMTE)

par Nicolas RAMPNOUX



soutenue le 27 juin 1991 devant la commission d'examen :

Président	P. CHAUVE	<i>Professeur à l'Université de Franche-Comté</i>
Rapporteurs	P. BROQUET	<i>Professeur à l'Université de Franche-Comté</i>
	P. MECHELER	<i>Professeur à l'Université P. et M. Curie, Paris VI</i>
Examineur	J. MANIA	<i>Professeur à l'Université de Franche-Comté</i>

## SOMMAIRE

	pages
PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION	
A. CADRE GENERAL DE L'ETUDE.....	1
B. GENERALITES.....	2
I- Rappels sur l'organisation structurale des magasins fissurés calcaires et des différentes approches conceptuelles.....	2
1) Description générale de la fracturation.....	2
2) Organisation structurale des magasins fissurés calcaires.....	5
3) Loi d'écoulement dans une fracture élémentaire.....	6
4) Ecoulements dans les milieux fissurés.....	9
II- Situation géographique et géologique générale du site d'étude.....	13
1) Situation géographique.....	13
2) Situation géologique.....	13
3) Site expérimental.....	16
III- Etudes entreprises.....	19
1) Mesures en laboratoire.....	19
2) Mesures in situ.....	20
DEUXIEME PARTIE	
CARACTERISATION PETROGRAPHIQUE DES CALCAIRES ETUDIES TEXTURE DU MILIEU POREUX	
A. MESURE DE LA POROSITE.....	21
I- Généralités sur la pétrographie des roches carbonatées...	21
1) La phase solide.....	21
2) Les espaces poreux.....	22
II- Mesure de la porosité.....	29
1) Définitions.....	29
2) Méthodes de mesure de la porosité en laboratoire.....	29
3) Méthode de mesure in situ de la porosité.....	29
III- Mesures expérimentales de la porosité totale.....	32
1) Mesure de la porosité accessible à l'eau sous-vide....	32
2) Mesure de la porosité accessible au mercure, sous pression.....	34
3) Conclusions.....	36

B. DETERMINATION DU COEFFICIENT DE PERMEABILITE.....	59
I- Rappels théoriques.....	59
1) Définition de la perméabilité et de la loi de Darcy...	59
2) Rappels des principales méthodes de mesures de la perméabilité en laboratoire.....	62
II- Mesure expérimentale de la perméabilité à l'air.....	65
1) Dispositif expérimental.....	65
2) Résultats.....	68
3) Conclusions.....	75
C. ESSAIS NON DESTRUCTIFS : MESURES DE LA CELERITE ET DE L'ANISOTROPIE DES ONDES P ET S.....	77
I- Introduction.....	77
II- Rappels bibliographiques.....	77
1) Célérité des ondes P et S.....	77
2) Atténuation des ondes ultrasonores.....	81
3) Géométrie des appareils de mesures.....	87
III- Résultats expérimentaux.....	88
1) Essais de mesure de célérité des ondes P et S.....	88
2) Anisotropie acoustique des roches.....	99
D. ETUDE GEOSTATISTIQUE.....	107
I- Introduction.....	107
II- Définition et rappels théoriques.....	107
III- Le variogramme.....	108
1) Définition.....	108
2) Propriétés du variogramme $\tau(h)$ .....	108
IV- Analyse géostatistique.....	110
1) Signification des variables.....	110
2) Etude de la variable porosité.....	111
3) Etude de la variable perméabilité.....	113
4) Etude de la variable "vitesse des ondes ultrasoniques de compression et de cisaillement".....	113
5) Conclusions.....	115
E. CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	117

## TROISIEME PARTIE

### MESURES IN SITU SUR LE SITE EXPERIMENTAL DE SAMSON

A - ETUDE TRIMENSIONNELLE DE LA FRACTURATION.....	119
A.1. Analyse de la fracturation sur les carottes de forage..	119
I- Généralités.....	119
1) Apport d'un sondage carotté dans la reconnaissance de la fracturation.....	119
2) Description du sondage et acquisition des carottes....	119
3) Acquisition des données.....	120
II- Traitement des données expérimentales.....	124
1) Analyse des paramètres géotechniques.....	124
2) Longueur cumulée des fractures par pas de longueur....	127
3) Analyse des distances interfractionnelles.....	129
4) Analyse directionnelle de la fracturation.....	129
5) Densité de fracturation.....	136
6) Conclusions.....	136
A.2. Etude de la fracturation en surface.....	138
I- Généralités.....	138
1) Introduction.....	138
2) Acquisition des données.....	138
II- Traitements des données expérimentales.....	141
1) Etude directionnelle.....	141
2) Etude des fréquences.....	144
3) Conclusions.....	145
4) Remarques sur l'analyse cinématique.....	146
III- Etude des photos aériennes.....	146
1) Introduction et méthodologie.....	146
2) Résultats.....	148
A.3. Comparaison entre les stations de surface et le forage.....	149
1) Directions.....	149
2) Intensité de fracturation.....	150
3) Conclusions.....	151

B - METHODES DE MESURE INDIRECTE DE LA FRACTURATION PAR SISMIQUE REFRACTION.....	153
I- Introduction.....	153
II- Dispositifs.....	153
III- Calcul de l'anisotropie.....	155
IV- Résultats expérimentaux.....	155
1) Sites A et B.....	155
2) Site C.....	158
3) Conclusions.....	160
V- Corrélation fracturation-anisotropie.....	160
VI- Conclusions.....	163
C. APPORT DE LA DIAGRAPHIE ACOUSTIQUE DANS L'IDENTIFICATION DE LA FRACTURATION ET DE LA PERMEABILITE EN FORAGE.....	165
I- Introduction.....	165
II- Généralités sur les diagraphies acoustiques.....	167
1) Propagation des ondes en forage.....	167
2) Perméabilité et atténuation dans le signal.....	172
III- Applications aux données de terrain.....	173
III-1. <u>Introduction</u> .....	173
1) Généralités.....	173
2) Mécanismes physiques de l'atténuation de l'onde P réfractée.....	173
3) Méthode de calcul de l'indice $I_c$ .....	175
III-2. <u>Réalisation des diagraphies</u> .....	176
1) Présentation.....	176
2) Description des outils.....	176
3) Logiciels de dépouillement de la diagraphie acoustique.....	178
III-3. <u>Présentations et interprétations des profils                 diagraphiques</u> .....	179
1) Diagraphies annexes.....	179
2) Diagraphie acoustique.....	181
3) Calcul de l'indice $I_c$ .....	187
IV- Conclusions.....	195

D. MESURES HYDRAULIQUES EN FORAGE.....	197
I- Caractéristiques hydrauliques globales.....	197
1) Présentation de l'essai.....	197
2) Méthodes de détermination des transmissivités.....	197
3) Résultats.....	204
4) Conclusions.....	205
II- Essais Lugeon.....	207
1) But et principe.....	207
2) Préparation de l'essai et réalisation.....	209
3) Résultats et interprétations.....	211
4) Conclusions.....	224
III- Conductivité thermique et électrique de l'eau.....	225
1) Généralités.....	225
2) Réalisation des essais et interprétation.....	226
3) Conclusions.....	231
E. ESTIMATION DE LA PERMEABILITE DIRECTIONNELLE.....	233
I- Aspect théorique.....	235
II- Calcul du tenseur de perméabilité le long de l'axe du forage carotté.....	234
1) Données du calcul des tenseurs de perméabilité.....	235
2) Tenseurs de perméabilité.....	240
3) Conclusions.....	242
F. CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE.....	245
CONCLUSION GENERALE.....	249
Annexes.....	255
Liste des figures.....	261
Liste des tableaux.....	270
Liste des figures et tableaux en annexe.....	271
Bibliographie.....	273