Hydrogéologie des formations fissurées et karstifiées de la région orientale du Vénézuéla (Puerto La Cruz-Cumana)

Haydée Larez Gonzalez

▶ **To cite this version:**

Haydée Larez Gonzalez. Hydrogéologie des formations fissurées et karstifiées de la région orientale du Vénézuéla (Puerto La Cruz-Cumana). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1982. Français. NNT : . tel-00783576

HAL Id: tel-00783576

https://theses.hal.science/tel-00783576

Submitted on 1 Feb 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.

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 030695 9

LAREZ-GONZALEZ (H.)

Ex. n° I

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ
Géologie Appliquée
Option : Hydrogéologie

17 FEV. 1982

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
B.P. 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

HYDROGÉOLOGIE DES FORMATIONS FISSURÉES ET KARSTIFIÉES DE LA RÉGION ORIENTALE DU VENEZUELA

(Puerto La Cruz-Cumana)

par Haydée LAREZ GONZALEZ

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
B.P. 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

Soutenue le 12 février 1982 devant la Commission d'Examen :

R. BARBIER	Professeur Emérite U.S.M.G.	Président
J. SARROT REYNAULD	Professeur U.S.M.G.	Rapporteur
J.G. FOURNEAUX	Maître Assistant U.S.M.G.	Examinateur

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ
Géologie Appliquée
Option : Hydrogéologie

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76). 87.46.43

17 FEV. 1982

HYDROGÉOLOGIE DES FORMATIONS FISSURÉES ET KARSTIFIÉES DE LA RÉGION ORIENTALE DU VÉNÉZUELA

(Puerto La Cruz-Cumana)

par Haydée LAREZ GONZALEZ

Soutenue le 12 février 1982 devant la Commission d'Examen :

R. BARBIER	Professeur Emérite U.S.M.G.	Président
J. SARROT REYNAULD	Professeur U.S.M.G.	Rapporteur
J.G. FOURNEAUX	Maître Assistant U.S.M.G.	Examinateur

10100964

SOMMAIRE

AVANT - PROPOS

CHAPITRE 1

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 2

GEOLOGIE DE LA REGION DE PUERTO LA CRUZ-CUMANA 5

CHAPITRE 3

GEOMORPHOLOGIE QUANTITATIVE 25

CHAPITRE 4

HYDROCLIMATOLOGIE 35

CHAPITRE 5

HYDROGEOLOGIE 83

CHAPITRE 6

MISE EN EVIDENCE DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS PAR TRAÇAGES..... 101

CHAPITRE 7

LES FORAGES DE RECONNAISSANCE DANS LES CALCAIRES. MESURES ET ESTIMATIONS 109

CHAPITRE 8

HYDROGEOCHIMIE 119

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04.76.63.54.27 - Fax 04.76.51.40.58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

18 AOUT 2003

CHAPITRE 9

RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS 141

BIBLIOGRAPHIE 147

LISTE DES TABLEAUX 155

LISTE DES FIGURES 157

TABLE DES MATIERES 160

ANNEXES 167

AVANT-PROPOS

Au terme de cette étude, je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. SARROT-REUNAULD, Responsable du Service Hydrogéologie de l'Institut Dolomieu, qui m'a accueillie lors de mes séjours en France, pour les critiques qu'il a bien voulu apporter à mon manuscrit ; j'ai pu profiter ainsi de ses conseils et de son expérience des problèmes hydrogéologiques.

J'ai toujours eu un respect très profond à l'égard de Monsieur le Professeur R. BARBIER. Aujourd'hui, il me fait l'honneur de bien vouloir présider ce jury et je l'en remercie très vivement.

Je remercie Monsieur FOURNEAUX qui a bien voulu accepter de participer à ce jury.

Je remercie également Monsieur J.M. HERNANDEZ, Directeur du Service Hydrologie (M.A.R.N.R.) pour ses conseils et les moyens qu'il a mis à ma disposition.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Mademoiselle J. PIMENTEL, Technicienne du M.A.R.N.R. pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail, et pour ses encouragements.

Ma considération et mon amitié vont à Monsieur E. BUENO qui m'a accompagnée sur le terrain, et je le remercie pour ses conseils.

Je n'aurai garde d'oublier toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail tant au Vénézuela qu'en France et tout spécialement mes collègues du M.A.R.N.R., Messieurs D. MATOS, P. HERGETIC, E. ARTEAGA.

Je dédie ce modeste travail à ma famille et à Véronique.

CHAPITRE 1

1- INTRODUCTION

1.1- OBJECTIF ET METHODE DE L'ETUDE

1.2- SITUATION DU VENEZUELA EN AMERIQUE

1.3- GEOGRAPHIE ET LIMITES DE LA REGION

1.4- RECHERCHES ANTERIEURES

1- INTRODUCTION

1.1- OBJECTIF ET METHODE DE L'ETUDE

L'objectif de ce travail est d'essayer de mettre en évidence les circulations d'eaux souterraines dans les roches fissurées et karstifiées, de connaître leur comportement et leur destinée; mais aussi de mieux connaître ces types d'aquifères et leurs proprietés hydrodynamiques afin de situer et d'évaluer les réserves en eaux souterraines qu'ils contiennent.

Le thème de cette étude est donc une contribution à la connaissance de la fissuration et des phénomènes karstiques et de leurs répercussions hydrogéologiques dans la région de Puerto la Cruz-Cumana.

Pour la réalisation de ces objectifs, notre travail s'est deroulé en trois étapes:

1er étape:

- Etude bibliographique

- Compilation des matériaux concernant: les cartes topographiques à 1'échelle 1:25000, 1:50000, 1:100000; les photos aériennes mission 040193 à 1'échelle 1:25000; les images radar à 1'échelle 1:250000 feuille NC20-5 et NC20-6 (pétrole du Vénézuela S.A.).

2ème étape:

- Observation et vérification sur le terrain des contacts géologiques et des structures.

- Mesures des directions,pendages des strates, fissures et failles.

- Prélèvements d'échantillons d'eaux (mesures in situ pH, T).

- Essais expérimentaux de traçage à la fluorésceine.

3ème étape: Travaux de laboratoire et bureau

- Analyses physico-chimiques des eaux

- Détermination de la perméabilité des fissures par calcul sur ordinateur des matrices de " perméabilité équivalente ".

- Préparation des cartes

- Préparation du texte

Il faut remarquer que tous les données climatologiques et hydrométriques ont été tirées des chroniques mensuelles et annuelles du M.A.R.N.R pour la période (1969 - 1978). On a exploité les données disponibles pour déterminer:

- Les éléments climatiques, mais il faut préciser que nous n'avons pas disposé de toutes les données nécessaires pour l'ensemble de la région.

- Les différents éléments du bilan hydrologique, établis à différente échelles de temps: précipitations, évapotranspiration, ruissellements (eaux souterraines et superficielles).

- La valeur de l'infiltration grâce à l' analyse des courbes de récession à plusieurs stations hydrométriques de la région (méthode de Maillet).

- Les caractéristiques hydrodynamiques

C'est à partir de l'ensemble de tous les résultats ainsi obtenus que nous essayerons de présenter une synthèse en faisant resortir les parties fondamentales de l'hydrogéologie karstique observées dans cette région du Vénézuéla.

Ces premiers résultats vont permettre d'orienter les futures recherches dans le domaine des eaux souterraines des zones calcaires de notre pays.

1.2- SITUATION DU VENEZUELA EN AMERIQUE

Le Vénézuéla est situé dans la frange intertropicale ou zone torride et dans la partie septentrionale de l'Amérique du sud; entre 0° 43' et 12° 11' 46" de latitude nord et 59° 48' et 73° 25' de longitude ouest (fig n°1).

1.3- GEOGRAPHIE ET LIMITES DE LA REGION

La zone de Puerto la Cruz - Cumana est située dans l'est du Vénézuéla et appartient aux états d'Anzoategui et de Sucre; elle comprend une aire de 1228 Km^2 et s'étend entre 64° et 64° 45' de longitude ouest et 10° et 10° 29' de latitude nord.

Le relief de la zone est abrupt. Il s'élève graduellement depuis le niveau de la mer, où se trouve une fosse d'effondrement avec de nombreuses îles, jusqu'à une altitude de 1200 m (sommet du mont Rio Nuevo).

1.4- RECHERCHES ANTERIEURES

- En 1954, Von Der Osten a réalisé une étude géologique de la région de la baie de Santa Fé dans l'état de Sucre.

- En 1960, Rosales a réalisé des recherches sur la stratigraphie du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène de la Sierra de l'Intérieur.

- En 1972, le Ministère de l'Energie et des Mines (M.E.M) a élaboré une carte hydrogéologique du Vénézuéla au 500000ème .

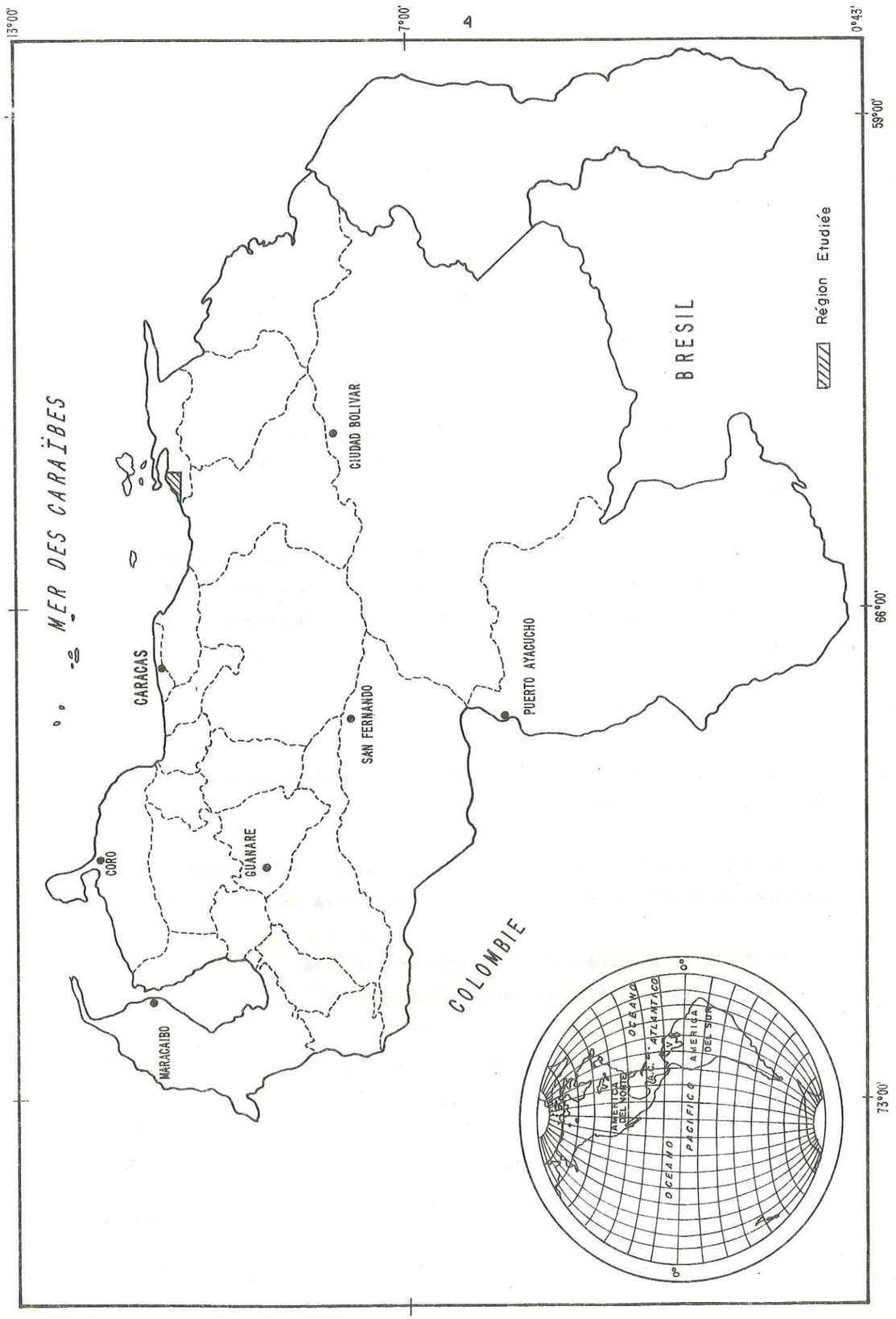
- En 1974, COPLANARH a réalisé une étude géomorphologique du système montagneux Nord - Oriental.

En résumé:

- La région est située dans l'est du Vénézuéla, sa superficie est de 1228 Km^2.
- Son relief est abrupt et l'altitude maximale (sommet du mont Rio Nuevo) est de 1200 m.

Fig nº 1

SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION DE PUERTO LA CRUZ - CUMANA



CHAPITRE 2

2- GEOLOGIE DE LA REGION PUERTO LA CRUZ - CUMANA

2.1- GENERALITES

2.2- STRATIGRAPHIE

2.3- TECTONIQUE

2.4- CONCLUSIONS

2- GEOLOGIE DE LA REGION PUERTO LA CRUZ - CUMANA

2.1- GENERALITES

La région étudiée se situe dans le massifs montagneux de la Sierra de l'Intérieur. Celle-ci est constitué en majorité de roches très plissées et faillées.

Les sédiments les plus anciens sont représentés par la formation Barranquin (groupe Guayuta) d'âge Crétacé inférieur.

Les sédiments du tertiaire sont moins développés et n'occupent qu'une petite partie de la superficie de la région. Au contraire les sédiments de l'ère secondaire sont beaucoup plus développés et sont représentés par des calcaires, des grès et des argilites.

2.2- STRATIGRAPHIE

Nous nous proposons dans ce paragraphe, de décrire la stratigraphie générale de l'ensemble de la région étudiée (fig n° 2).

2.2.1- Ere secondaire

2.2.1.1- Crétacé. Conditions de sédimentation

Les conditions de sédimentation au Crétacé, sont favorables au dépôt de calcaires.

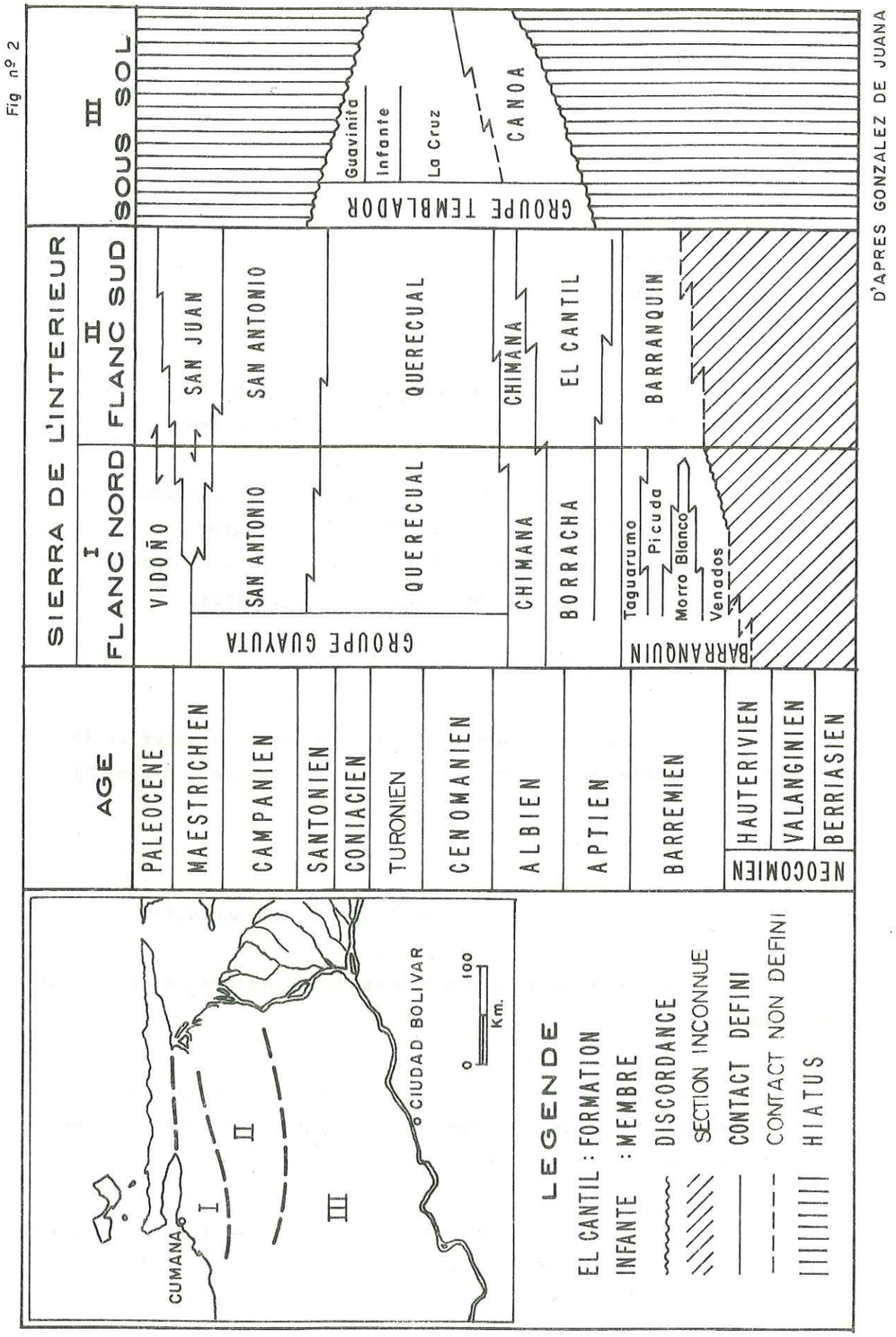
A cause des transgressions et des régressions succèsives de la mer, on peut noter de nombreux changements de faciès des sédiments et définir des cycles sédimentaires.

Un tel cycle commence quand se dépose le groupe Sucre, d'âge Crétacé inférieur à moyen (Barrémien-Cénomanien) avec le développement de milieux néritiques côtiers et littoraux.

Le groupe Sucre est constitué par les formations Barranquin,

CADRE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU CRETACE
DE L'ORIENT DU VENEZUELA

Fig nº 2



D'APRES GONZALEZ DE JUANA

El Cantil et Chimana.

La subsidence atteint sa plus grande amplitude entre le Cénomanien et le Santonien avec la sédimentation du groupe Guayuta constitué par les formations Querequal et San Antonio.

Les conditions de dépôt étaient de type anaérobie, avec un milieu réducteur de fond marin où se sont accumulés les calcaires laminaires, riches en matière organique caractérisant la formation Querequal. Plus tard, les conditions deviennent plus oxydantes et il y eut un apport détritique ainsi que de silice qui caractérise la formation San Antonio.

Après la période de transgression marine maximale au Vénézuéla représentée à l'est du territoire par le groupe Guayuta et ses équivalents, les débuts de l'orogénèse du Crétacé supérieur ont provoqué un nouvel apport de sables du craton de Guayana. De tels sables caractérisent la formation San Juan et se sont accumulés sous forme de biseaux qui avancent vers le nord, recouvrant la formation San Antonio d'une manière diachronique, cette dernière pouvant même parfois être absente .

2.2.1.1.1- Crétacé inférieur. Groupe Sucre

Le groupe Sucre est constitué par trois formations :

- Formation Barranquin (Kba)

Cette formation est constituée de grès dont la couleur varie du gris clair aux tons rougeâtres de la roche altérée, des argiles de couleurs variables, en partie noires, carbonatées avec des plantes fossiles bien conservées,des calcaires d'origine récifale, généralement sableux et ferrugineux mais peu épais.

La formation Barranquin est l'unité lithologique la plus ancienne du Crétacé inférieur qui affleure dans la Sierra de l'Intérieur. Le contact à sa base est inconnu mais elle repose sûrement sur le socle cristallin.

Le contact supérieur avec la formation El Cantil est continu marqué par la présence de grès conglomératiques à stratification entre - croisée, et d'argilites avec des restes de végetaux qui alternent avec des argilites et des calcaires d'origine marine.

La coupe type de ces sédiments se situe près du village de Barranquin, entre Cumana et la rivière Manzanares dans la partie septentrionale de l'état de Sucre.

L'épaisseur maximale s'observe entre la Tejeria et la Yagua, sur le chemin de Santa Maria de Piedras où elle est de 1420 m.

Les sédiments de cette formation sont constitués par des calcaires fossilifères à Ostrea subovala, Exogyra aquila.

Les foraminifères comprennent Choffatela decipiens, Cristellaria gaultina. On attribue à cette formation un âge Barrémien-Aptien.

Dans la région de Santa Fe - baie de Mochima et des îles proches de la côte, Von Der Osten (1954-1957) a défini quatre membres stratigraphiques à savoir: membres Venados, Morro Blanco, Picuda-Taguarumo; cette subdivision ne peut se faire que dans les zones où affleure le membre Morro Blanco car dans les autres cas, l'absence de fossiles et les similitudes lithologiques avec les autres membres la rendent difficile.

Ce membre Morro Blanco est constitué par des calcaires dans lesquels on peut remarquer la présence d'algues calcaires. Ces roches bien stratifiées se présentent en couches relativement minces dont l'ensemble forme des masses de grande épaisseur; entre les couches des calcaires, on observe de fines couches d'argiles.

Quand il s'altère, le membre Morro Blanco prend une couleur blanchâtre.

La formation Barranquin reste limitée au noyau de l'anticlinal qui passe un peu au nord du village de Mochima.

- Formation El Cantil (Kec)

La formation El Cantil est constituée par des calcaires massifs de couleur gris clair, présentant fréquement l'aspect récifal; ces calcaires présentent des interstratifications d'argilites et de grès.

Le contact inférieur avec la formation Barranquin est concordant et progressif; au sommet et jusqu'au sud du bassin, le passage est également continu avec la formation Querequal et vers le nord (Pertigalete) avec la formation Chimana.

La coupe type est située dans la falaise d'El Cantil près de la rivière Punceres, 3 Km à l'ouest de la commune de Punceres, (nord de l'état de Monagas). La coupe type atteint dans ce dernier secteur une épaisseur de 866 m mais généralement celle-ci n'est jamais inférieure à 300 m.

La formation est uniformément fossilifère; les calcaires contiennent des macro-fossiles ainsi qu'une micro-faune abondante.

Les foraminifères présents sont les suivants: Choffatela decipiens, Orbitolina concava texana. Dans la partie inférieure, on trouve des foraminifères planctoniques qui permettent d'assigner un âge Aptien-Albien à la formation.

- Formation Chimana (Kchi)

La formation Chimana est constituée d'argiles, grès et calcaires stratifiés d'une manière irrégulière et très variable.

Les contacts sont concordants aussi bien avec la formation El Cantil à la base qu'avec la formation Querequal au sommet et la transition entre les faciès est progressive.

Dans la coupe type, située dans l'île de Chimana Grande, au nord de Puerto la Cruz prédominent les argilites (87%), mais vers le sud la tendence s'inverse au profit de grès. L'unité forme un grand biseau qui augmente d'épaisseur vers le nord et vers l'est; cette dernière

atteint un maximun de 800 m. Dans la région de Pertigalete, la microfaune recensée est très pauvre, mal conservée et difficile à identifier.

Grâce aux ammonites et aux foraminifères planctoniques et benthiques trouvés dans la formation, on lui attribue un âge Albien.

Les affleurements de cette formation sont limités à l'anticlinal de Vega Grande, situé le long de la route qui va de Santa Fe au barrage du haut Neveri, entre le village de Maco et Vega Grande.

2.2.1.1.2- Crétacé moyen. Groupe Guayuta

Le groupe Guayuta comprend les formations Querequal et San Antonio.

- Formation Querequal (Kq)

La formation Querequal se caractérise par une série de strates formées de calcaires et argilites laminaires concrétionnées de couleur noire.

La coupe type a été identifiée dans la rivière Querequal, au sud du village El Cantil, de part et d'autre part du gué Hediondo (état d'Anzoategui). L'épaisseur y atteint 750 m.

Le contact inférieur du groupe sur les formations El Cantil et Chimana est concordant et on observe une diminution progressive de la proportion de calcaires qui sont de couleur plus claire et ont des textures différentes.

Le contact supérieur est concordant avec la formation San Antonio. Sur le flanc sud de la Sierra de l'Intérieur, le passage est continu avec les grès grossieres de la formation San Juan.

Les foraminifères sont généralement des Globigerina, Gumbelina et Globotruncana.

La formation Querequal peut s'étendre entre le Cénomanien

et une parie du Santonien.

- Formation San Antonio (Ksa)

La formation San Antonio est constituée de calcaires sableux disposés en fines strates et d'argilites calcaires noires similaires à celles de la formation Querequal; le seul caractère de différenciation entre les deux formations est la présence de grès grisâtres, de phtanites (chert) et de filons de grès recoupant la stratification dans la formation San Antonio.

La coupe type de la formation San Antonio est située dans le lit même de la rivière Querequal en aval de la coupe type de la formation Querequal. Son épaisseur atteint 350 m.

A l'est de Barcelona, le contact inférieur (formation Querequal) et le contact supérieur (formation Vidoño) sont concordants et continus et se marquent par l'apparition de grès et d'importants lits de phtanites.

Cette formation est caractérisée par des foraminifères planctoniques et benthiques, absents dans la formation Querequal. La présence de Siphogeneranoides ewaldi les assigne un âge Santonien-Campanien.

2.2.1.1.3- Crétacé supérieur

- Formation San Juan (Kj)

La formation San Juan est constituée principalement par des grès massifs à stratification entrecroisée. Les grès sont en effet formés essentiellement de sables fins en forme de biseau; leur importance diminue du sud vers le nord; les grès s'amincissent en effet et se digitent jusqu'à leur complète disparition dans la région de Barcelona. Ils sont alors remplacés par les argilites de la formation Vidoño.

La coupe type de la formation San Juan est située dans le ravin San Juan, affluent de la rivière Querequal, à environ 150 m du gué de Santa Anita. Dans cette coupe, la formation a une épaisseur de 100 m.

Les contacts inférieur et supérieur de la formation San Juan sont concordants, mais progressifs et très légèrement diachroniques avec le groupe Guayuta et la formation Vidoño respectivement.

L'unité présente quelques rares foraminifères comme Dorothia sulleta et Candryina laevigata.

La formation a été identifiée comme d'âge Crétacé supérieur (Maestrichien), avec une possible incursion vers le Paléocène.

2.2.2- Ere tertiaire. Conditions de sédimentation.

L'ère tertiaire commence avec le dépôt dans un milieu d'eau profonde de la formation Vidoño qui se poursuit depuis la fin du Crétacé durant le Paléocène et le début de l'Eocène.

Après ce dépôt, les sédiments de la formation Caratas, s'accumulent en différents milieux; la formation est transgressive à la base et régressive au sommet. Au sein de la formation Caratas une lacune très importante précède le dépôt du membre Tinajitas.

L'évolution structurale de la Sierra de l'Intérieur, dans sa partie orientale, a commencé à une époque récente.(figure n° 3)

Gonzalez de Juana (1947) a déterminé cette orogénèse comme datant de la fin de l'Eocène jusqu'au post-Eocène (Oligocène inférieur). Actuellement,on estime que postérieurement à la lacune de l'Eocène supérieur, la formation los Jabillos(supposée d'âge Oligocène inférieur), marque le début d'un nouveau cycle de sédimentation. Durant ce dernier la surrection de la Cordillère s'est produite, et la phase de plissement n'a commencé que plus tard (Oligocène supérieur). Le cycle transgressif du Tertiaire supérieur est marqué par une séquence grèseuse de la formation los Jabillos, unité de base du groupe Merecure. La transgression se poursuivant, on trouve des argilites de la formation Areo (Oligocène moyen) et à la fin de l'Oligocène , des conditions palustres favorisent les accumulations de charbon de la formation Naricual.

Durant le Miocène, se déposent les sédiments de la formation

SCHEMA EVOLUTIF DU SYSTEME MONTAGNEUX NORD ORIENTAL

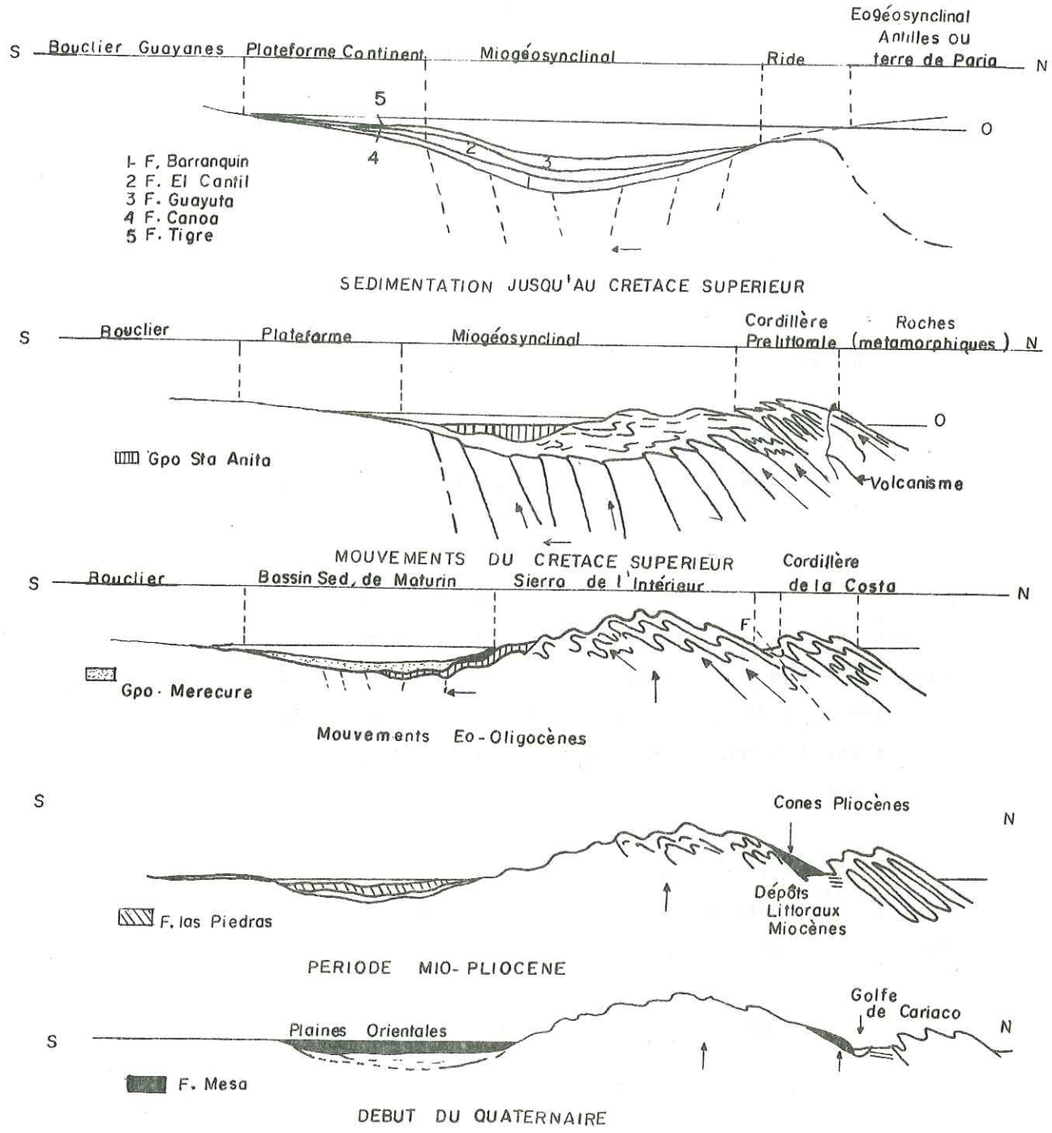


Figure nº 3

Capiricual. Enfin le cycle régressif se termine avec des dépôts continentaux de la formation Quiamare.

2.2.2.1- Paléocène

- Formation Vidoño (KTpv)

La formation Vidoño est constituée d'argilites sombres très fossilifères, intercalées de fines stratifications de silts et de grès fréquemment glauconieux.

La coupe type est située dans la rivière Querequal, depuis le gué de Santa Anita, jusqu'à 300 m en aval.

L'épaisseur des argilites de la formation Vidoño varie suivants les points; mais dans le lit de la rivière Querequal elle atteint 300 m.

A l'est de la dépression de Barcelona, la formation Vidoño est généralement en contact concordant et progressif tant avec la formation basale de San Juan, qu'avec la formation Caratas au toit. Vers le nord, les grès de la formation San Juan s'amincissent en lentilles et disparaissent complèment et la formation Vidoño repose en concordance sur le groupe Guayuta.

La formation Vidoño présente une faune riche en foraminifères répartis sur toute la séquence; on peut signaler les especes suivantes: Globotruncana gansseri, Globorotalia rex.

Le dépôt de la formation Vidoño se fait durant la fin du Crétacé, le Paléocène, et le début de l'Eocène.

2.2.2.2- Eocène

- Formation Caratas (Tec)

La formation Caratas est caractérisée par des silts et des grès glauconieux, dolomitiques ou calcaires. En général, l'unité présente

des faciès du type argilites vers le nord et sableux vers le sud. Il semble que le formation Caratas soit séparée par une lacune considérable de son membre Tinajitas qui présente un développement irrégulier de calcaires bioclastiques dans la partie supérieure de la formation.

La coupe type est située dans le lit de la rivière Querequal et atteint 355 m d'épaisseur. La formation est en position continue, mais légèrement diachronique sur les argilites de la formation Vidoño.

La micro-faune est formée par de rares Globigerina soldadorensis. On lui a attribuié un âge allant de l'Eocène inférieur à l'Eocène moyen. Cependant le membre Tinajitas est daté de l'Oligocène à cause de la présence de Globigerina amplipertura.

Les sédiments de l'Oligocène, Miocène et Pliocène ne sont pas répresentés dans la région étudiée.

2.2.3- Ere quaternaire

Les formations Quaternaires de la région comprennent des sédiments marins pléistocènes dans la zone côtière qui sont recouverts par les dépôts holocènes ou récents d'origine fluviatile.

2.2.3.1- Les alluvions anciennes

Dans la région de la baie de Santa Fe, il existe en quelques points des terrasses emboitées de petite étendue. Ces terrasses sont constituées par des argiles, et de sables plus ou moins fins.

2.2.3.2- Les alluvions récentes

Les dépôts récents de la région sont situés dans trois milieux géomorphologiques: plaines côtières (sables de plages), dépôts fluviaux, et marécages.

Les dépôts récents comprennent les alluvions des rivières Neveri, Manzanares, Santa Fe, Barbacoas et des plaines côtières de Puerto la Cruz et Cumana.

En surface ces alluvions sont formées par des graviers, sables, conglomérats, argiles, limons. Elles ont dans la région des épaisseurs très variables, mais ne sont que très peu ou même pas du tout consolidées.

En profondeur, les alluvions sont formées par une alternance de limons argileux ou finement sableux, de sables et de graviers et parfois d'élements grossiers comme on a pu constater dans de nombreux puits ou forages.

2.3- TECTONIQUE

2.3.1- Structure générale de la Sierra de l'Intérieur

D'après Gonzales de Juana, la Sierra de l'Intérieur dans sa branche orientale, est un grand anticlinorium de direction N70°E qui s'étend depuis le méridien 62°50' à l'est du village de Guariquen dans l'état de Sucre, jusqu'au méridien 64°50' près des villages de Caigua et San Bernardino dans l'état d'Anzoategui.Au nord, elle est délimitée par la côte Atlantique et l'archipiel d'îles qui s'étend de Barcelona à Cumana, par la côte du golfe de Cariaco et une ligne pratiquement est-ouest entre Cariaco et el Pilar (état de Sucre), où les montagnes dominent les plaines de Guaraunos.

La limite ouest est déterminée par les plaines inondables des deltas des rivières Turepano, Guariquen et San Juan. Du point de vue structural, sa limite sud ne coincide pas avec le piémont qui serait sa frontière géomorphologique naturelle, mais s'étend sous les dépôts sédimentaires récents jusqu'à un système de failles inverses; ces dernières sont identifiées comme un chevauchement frontal qui s'étend depuis le golfe de Paria, et continue parallement à la Sierra vers le sud-est du village d'Urica dans l'état d'Anzoategui (fig n°4).

La Sierra de l'Intérieur a une forme ovale allongée et mesure approximativement 5600 Km^2.

L'évolution structurale de la Sierra de l'Intérieur dans sa

branche est, est très récente. Gonzalez de Juana (1947) a fixé cet évenement au moment de l'orogénèse finale de l'Eocène et de l'Oligocène. Actuellement, on considére que par l'absence de l'Eocène supérieur, la formation los Jabillos, d'âge probablement Oligocène inférieur, marque le commencement d'un nouveau cycle sédimentaire pendant lequel eut lieu la surrection de la Cordillère dont le plissement ne s'est fait que plus tard.

Celui-ci a sans doute commencé pendant l'Oligocène supérieur quand les masses métamorphiques existant dans la région des Caraibes, se déplaçant vers le sud grâce à un processus qui a demarré au Crétacé, ont déterminé une compression nord-sud dont le vécteur résultant se trouvait dans la direction N20°O.

Du point de vue tectonique,les élements structuraux de la Sierra de l'Intérieur sont des plis et des fractures sous forme de failles et de diaclases.

2.3.1.1- Les plis

Structuralement la Sierra de l'Intérieur est un grand géanticlinal asymétrique de direction est-ouest, présentant un plongement dans ces deux directions.

La structure est formée de roches sédimentaires plissées et faillées surtout d'âge Crétacé mais aussi de roches plus jeunes.

Les plis élementaires du géanticlinal montrent les mêmes caractéristiques que la structure majeure car ils sont asymétriques et déversés vers le sud; leurs axes ont une direction de plongement vers l'ouest.

Dans certains régions, cependant, il existe des plis ouverts symétriques (anticlinal de Cerro Negro),et des plis isoclinaux (route de Cumana-Cumanacoa).

2.3.1.2- Les failles

Les failles peuvent se regrouper en trois systèmes:

2.3.1.2.1- Failles longitudinales

- De direction E-O à N75°E qui se comportent comme des failles inverses ou de chevauchement (plan de faille incliné vers le nord) et affectent des roches du Crétacé.

- De directionN80°E à N50°E qui se comportent comme des failles inverses ou de chevauchement (plan de faille incliné vers le sud) et affectent les roches allant du Crétacé au Pléistocène.

2.3.1.2.2- Failles de décrochement

- De direction N30°O à N50°E qui se comportent comme des décrochements dextres (failles de San Francisco et Urica) et affectent aussi bien des roches du Crétacé que celles du Pléistocène.

- De direction N30°E qui se comportent comme des décrochements sénèstres accompagnés de failles affectant les roches du Crétacé et du Pléistocène.

2.3.1.2.3- Failles normales

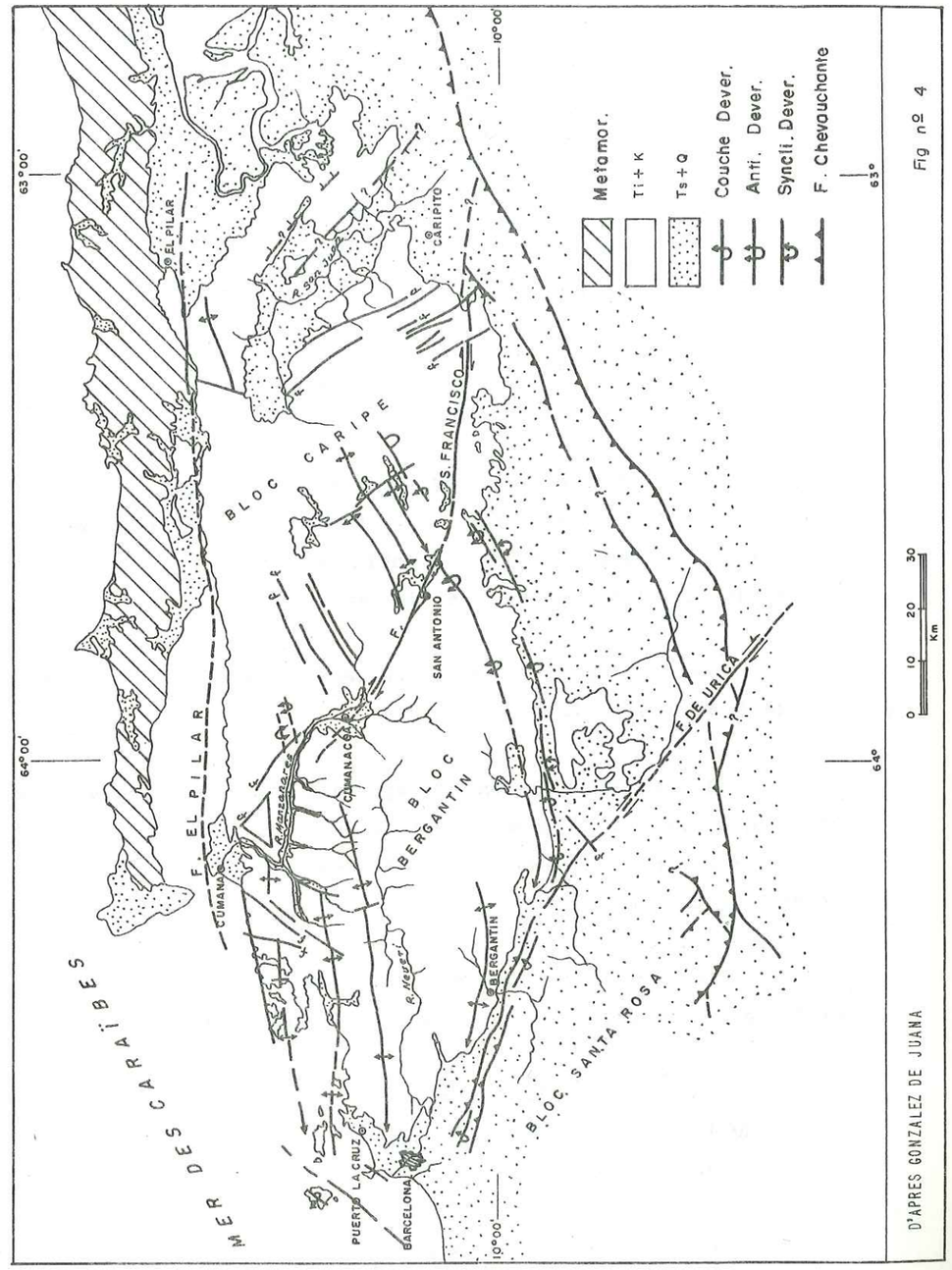
- De direction N-S elles affectent les roches du Crétacé et du Pléistocène.

Les failles de San Francisco et Urica ont permis à Murani (1972) de diviser la Sierra en trois blocs, appelés d'est en ouest, bloc de Caripe, bloc de Bergantin et bloc de Santa Rosa (fig n°4).

2.3.2- Structures de la région

La région étudiée, au point de vue tectonique, est située à l'extrème nord du bloc de Bergantin et dans le flanc nord de l'anticlinorium de la Sierra de l'Intérieur.

Sur le flanc nord, les plis sont asymétriques ouverts et leurs axes ont une direction de plongement vers l'ouest; l'amplitude de ces plis diminue vers le sud au fur et à mesure que nous nous approchons des grandes failles de décrochements (failles de San Francisco et Urica) où la structure se fait très complexe caractérisée par des charriages associés à des failles de chevauchement vers le sud.



Les structures de la région correspondent au schéma général de la province géologique. Les structures principales sont répresentées par des anticlinaux, des synclinaux et des failles qui s'adaptent aux directions régionales de la Sierra de l'Intérieur. Elles sont disséquées par des systèmes de failles transverses relativement récents.

Les plis majeurs se combinent à des plis mineurs sur leurs flancs et à une série de failles mineures régulières et parallèles et de décrochements, qui donnent à la région un aspect en échelons.

Les plis principaux de direction est-ouest et N80°E s'adaptent aux directions longitudinales de la Sierra de direction N70°E.

Les structures des plis majeurs de la région sont formées du nord au sud par: l'anticlinal de Mochima, le synclinal de Santa Fe, l'anticlinal de l'île de Monos , l'anticlinal et le synclinal de Pertigalete, l'anticlinal et le synclinal de Pozuelos.

Les figures n° 5 et 6 montrent une carte et une coupe géologique de la région étudiée.

L'anticlinal de Mochima apparaît comme un pli asymétrique ouvert, dont l'axe plonge vers l'ouest de 10° à 15° ayant une direction approximative de N80°E. Il est constitué par des roches des formations Barranquin et El Cantil.

Le synclinal de Santa Fé est aussi un pli asymétrique ouvert dont l'axe plonge vers l'ouest et a une direction N80°E.

Tout le long de ce dernier, affleurent les roches les plus récentes de la formation Barranquin, alors que les roches de la formation El Cantil sont absentes.

Des plis mineurs apparaissent sur les deux flancs et dans de nombreux endroits cachent la structure majeure. Ceci s'observe tout le long de la route Santa Fé - Cumana.

L'anticlinal de l'île de Monos est un pli ouvert, avec un

Fig n° 5

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION PUERTO LA CRUZ - CUMANA

Echelle 1 : 250.000

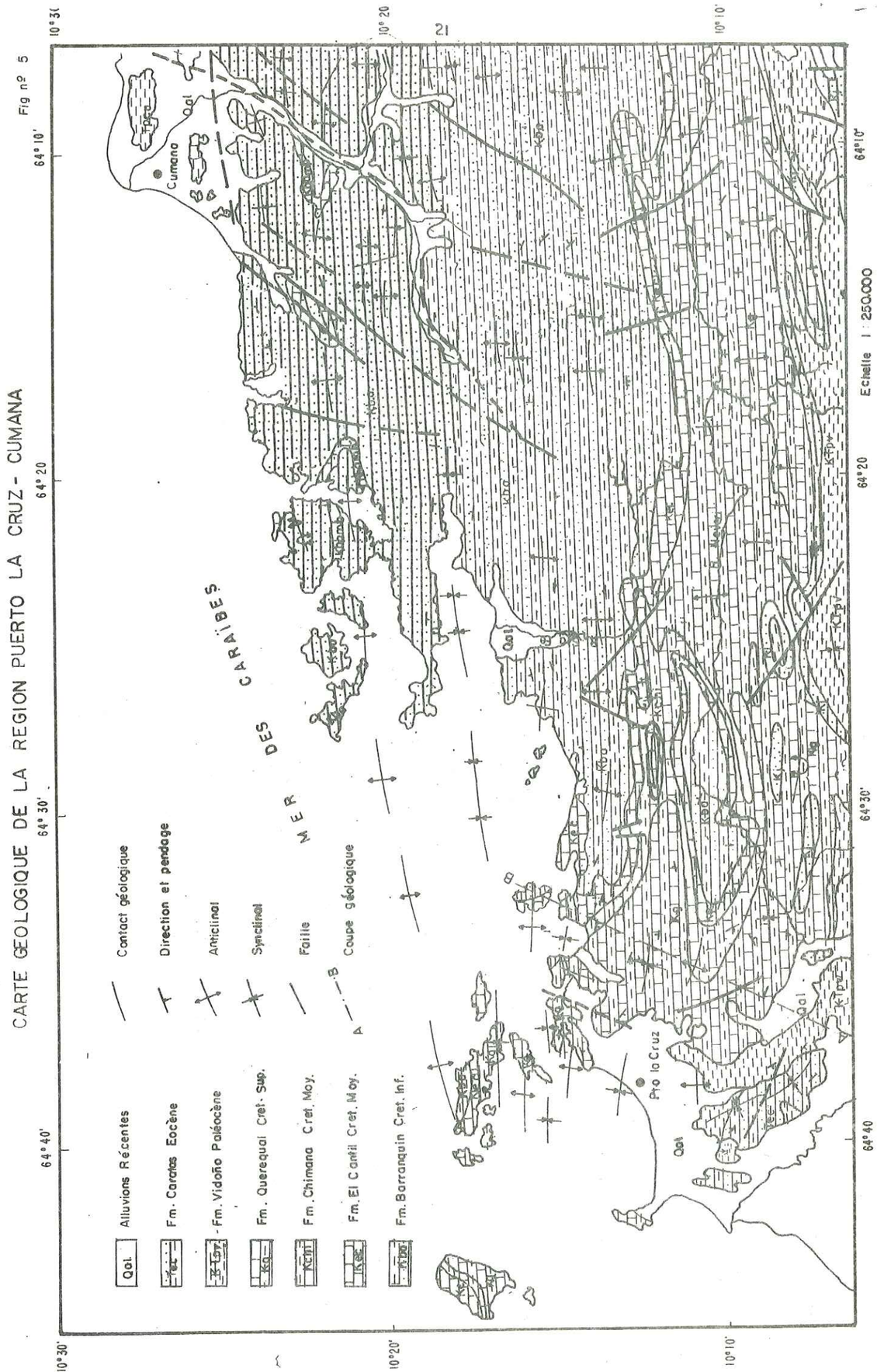
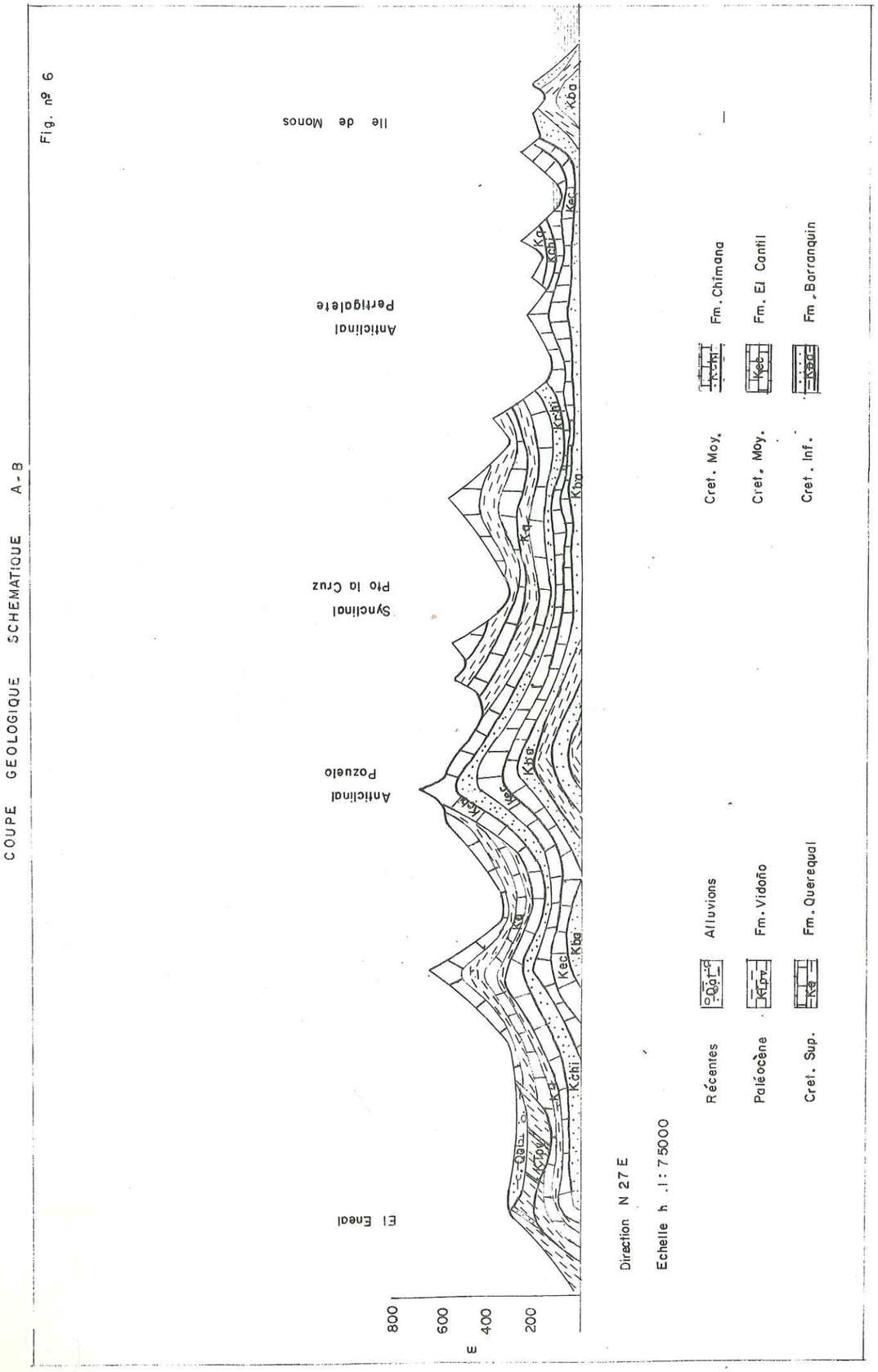


Fig. nº 6

COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE A-B



flanc septentrional à fort pendage. Son axe a un fort plongement vers l'ouest. L'anticlinal est formé uniquement de roches de la formation El Cantil et de la partie supérieure de Barranquin. Des plis mineurs apparaissent sur ses deux flancs.

L'anticlinal de Pertigalete est un pli asymétrique ouvert dont l'axe plonge vers l'ouest de 15° à 20°. Sa forme decrit un arc de telle façon que près de Pertigalete, l'anticlinal a une direction N80°O, tandis qu'au sud du village de Santa Fe, il a une direction N80°E.

Sur ses flancs apparaissent aussi des plis mineurs comme on peut l'observer dans les coupes de la route de Santa Fe-Guanta.

Le synclinal de Pertigalete est situé au nord de l'anticlinal du même nom. C'est un pli asymétrique ouvert dont l'axe plonge vers l'ouest et a une direction presque est-ouest. Dans la péninsule de Pertigalete, le synclinal est constitué par des roches des formations El Cantil, Chimana et Querequal. Le pli s'observe mieux dans la péninsule de Pertigalete, mais il s'étend vers l'ouest jusqu'à Guanta et vers l'est jusqu'à Conoma.

Les plis mineurs ou secondaires qui apparaissent dans toute la zone, specialement sur les flancs des structures majeures, ont la particularité d'être plus serrés et prononcés le long de certaines franges parallèles à la direction des axes principaux.

En général, toutes les failles observées dans cette région, sont petites, de faible déplacement et entrent dans la catégorie des failles mineures.

La région est traversée par de nombreux accidents tels que des décrochements (failles de Guanta et celle de Santa Fe).

2.4- CONCLUSIONS

La majorité des roches qui caractérisent chacune des formations qui affleurent dans la région sont fissurées et fracturées et là où les diaclases coupent les plans de stratifications se créent ainsi des conditions favorables à des circulations d'eau en tous sens . Les fissures et les plans de stratification ont pu s'agrandir à cause de cette

circulation d'eau et on observe de nombreux indices de karstification: grottes, avens, cavernes.

Le long du ravin de Pekin, on a pu observer la présence de sources d'eaux thermales qui apparement sont liées à des fissures tectoniques de direction est-ouest (faille de Pekin).

Cependant, il existe un groupe de failles representées par la faille de Barbacoas et celle de Manzanares, dont l'orientation varie dans la région de N45°E à N60°E.

Il existe aussi un autre système de failles de direction N35°O.

CHAPITRE 3

3- GEOMORPHOLOGIE QUANTITATIVE

3.1- GENERALITES

3.2- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR IA DETERMINATION DE L'AIRE DE PERMEABILITE PRINCIPALE

3.3- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR IA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES

3.4- ANALYSE DU RESEAU DE DRAINAGE

3.5- DETERMINATION DES STRUCTURES NEOTECTONIQUES

3.6- INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES MORPHOMETRIQUES POUR IA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES

3.7- CONCLUSIONS

3- GEOMORPHOLOGIE QUANTITATIVE

3.1- GENERALITES

La région étudiée comprend une partie de la province physiographique de la Cordillère côtière représentée par la sous-province Sierra de l'Intérieur.

La Sierra de l'Intérieur dans sa partie est, présente un vaste bloc montagneux constitué en majorité par des roches très plissée et faillées. Le relief s'élève depuis le niveau de la mer en face de Puerto la Cruz jusqu'aux pics Tristeza(2660 m) et Turimiquire (2550 m).

La sous-province est caractérisée par des montagnes à pentes raides, par un relief des côtes très échancré, par un drainage rectangulaire, et par une grande différence d'altitude entre les crêtes et les vallées.

Le trace des crêtes des montagnes et celui des cours d'eau sont généralement controlés par la structure géologique et reflétent la nature plissée et faillée des montagnes; mais de nombreuses failles obliques ont donné à la région un aspect en échelons.

Une série de bosses et de creux qui se succèdent d'est-ouest constitue le caractére géographique dominant.

Le drainage rectangulaire typique du massif montagneux de l'intérieur est bien implanté dans la région, même si la majeure partie des torrents sont intermittents et si leur cours sont brefs (pas plus de 15 Km), et pentus; il s'agit de ruisseaux qui suivent les failles orientées sud-est - nord ouest ou sud ouest - nord est, d'autres ont la même direction que les plis.

3.2- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR LA DETERMINATION DES AIRES DE PERMEABILITE PRINCIPALE

L'analyse morphométrique concerne les caractéristiques du relief suivantes : nature du réseau fluvial, lignes de partage des eaux

étude de l'érosion, quantités de matériaux érodés, etc.

Pour la surface étudiée, on a réalisé une carte géomorphologique quantitative basée sur la morphométrie du drainage.

Le principe sur lequel repose cette analyse est que le drainage superficiel se fait mieux et plus rapidement sur des zones imperméables où l'eau peut ruisseler et entrainer avec elle des matériaux isolés.

Sur les sols perméables, l'eau s'infiltre et ne crée pas de cours d'eau, ainsi les lignes d'iso-densités maximales correspondent à un taux de drainage élevé indiquant des matériaux imperméables, tandis que les lignes d'iso-densités minimales correspondent à un taux de drainage superficiel très faible et donc aux matériaux perméables.

Selon Filosofov, (1960), la carte de densité de drainage est basée sur une analyse statistique des longueurs de tous les canaux de drainage qu'ils soient intermittents ou non, observés sur la carte nationale et des canaux déduits à partir des courbes de niveau du terrain, par rapport à la surface qu'ils occupent, exprimées en Km de longueur par Km^2.

Une telle carte conduit à l'interprétation de la lithologie des sédiments qui affleurent, permettant ainsi d'apprécier quantitativement la perméabilité ou l'imperméabilité de ces sédiments.

Pour la région étudiée, on a différencié 4 catégories de drainage (figure n° 7).

- Densité de 0 à 0.3 Km/Km^2 correspondant à une prédominance de sédiments perméables.

- Densité de 0.3 à 0.6 Km/Km^2 correspondant à des sédiments perméables ou imperméables avec prédominance de sédiments perméables.

- Densité de 0.6 à 1.2 Km/Km^2 correspondant à des sédiments perméables et imperméables avec prédominance de sédiments imperméables.

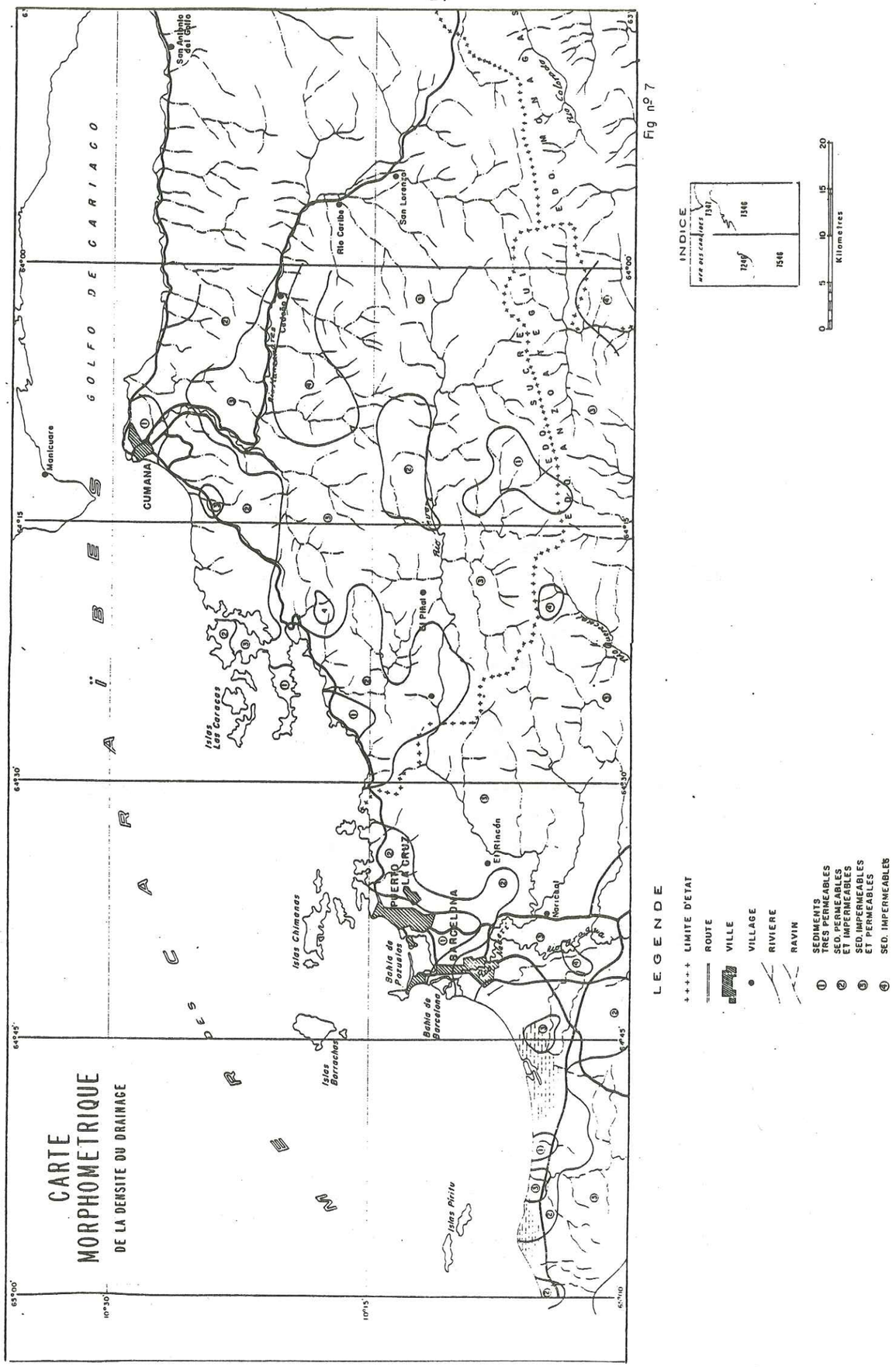


Fig n° 7

- Densité de 1.2 à 2.2 Km/Km^2 correspondant à des sédiments pratiquement imperméables.

Si l'on se réfère à cette classification, dans la région étudiée prédominent les catégories 2 et 3 typiques des formations du Crétacé.

La catégorie 1 occupe de petites surfaces où dominent les sédiments récents.

La catégorie 4 correspond principalement aux formations du Tertiaire (surfaces pratiquement imperméables).

3.3- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR LA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES

La détermination des structures tectoniques et de leurs relations avec la géodynamique de la région, a été rendue possible grâce à l'application des méthodes morphométriques qui ont permis d'une façon indirecte la détermination de quelques structures et de leurs relations avec le relief actuel. La région étudiée étant une région montagneuse on a appliqué certaines méthodes (analyse du réseau de drainage, détermination de la surface de base d'érosion, détermination des différences d'érosion entre plusieurs ordres de rivières), dont l'interprétation est donnée ci-après.

3.4- ANALYSE DU RESEAU DE DRAINAGE

La surface d'érosion est formée par un réseau de drainage où prédominent des cours d'eau de 1^{er} et $2^{ème}$ ordres, ce qui indique qu'il s'agit d'une surface néotectoniquement active, en cours de soulèvement.

Du point de vue de la forme, on observe:

- D'une part un drainage de type dendritique, qui correspond aux zones où la lithologie est celle de matériaux tendres.

- D'autre part un drainage de type rectangulaire, principalement associé aux fractures et particulierement aux failles d'extension régionale et aux diaclases.

- Enfin un drainage de type radial (centripète et centrifuge), associé aux affaissements et aux soulèvements.

3.5- DETERMINATION DES STRUCTURES NEOTECTONIQUES

La détermination des structures néotectoniques se fait à partir de:

- La détermination des limites des bassin versants.

- La classification des cours d'eau selon la méthode de Horton.

- La préparation des cartes de paléosurfaces des différents ordres.

- La préparation des cartes pour les différentes surfaces d'érosion.

Selon Prelogovic (1969) la carte des paléosurfaces est preparée en tenant compte des intersections des lits des cours d'eau de l'ordre choisi avec les courbes isohypses; ces points d'intersection sont ensuite reliés suivant le chemin le plus court. La courbe résultante répresente le relief correspondant à l'époque de formation de l'ordre considéré (paléorelief).

Les courbes groupées en forme de fer à cheval indiquent la présence de plis anticlinaux. Par contre, si les groupements des courbes sont lâches et présentent un tracé très peu sineux on est en présence d'une structure négative.

La carte des différences des surfaces d'érosion se prépare à l'aide des superpositions des cartes des paléosurfaces correspondant aux ordres successifs (par exemple superposition des $II^{ème}$ et $III^{ème}$ ordres). Les points d'intersection représentent les progrès de l'érosion pendant les temps de passage d'un ordre à l'autre.

3.6- INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES MORPHOMETRIQUES POUR LA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES

L'interprétation de la carte de densité de drainage de la surface étudiée indique qu'il s'agit d'une région néotectoniquement active; effectivement vers le nord-ouest de la feuille 7346, on a déterminé des valeurs de densité de drainage minima; ceci indique qu'il s'agit d'une zone de subsidence (zone négative).

D'autre part, vers le nord-est, les valeurs de densité de drainage augmentent, ce qui indique une zone qui se souléve (zone positive).

Vers le sud, les valeurs des densités de drainage alternent entre des maxima et minima, ce qui indique qu'il s'agit d'une zone de soulèvements et d'affaissements successifs.

Si nous considérons la carte des différences d'érosion des ordres II,III,IV (feuille 7346) nous pouvons observer que dans la région nord-ouest, il existe des lignes d'isodensité de drainage à valeurs négatives; il en est de même quand il y a affaissement. Vers le nord-est les valeurs positives dominent ce qui corrobore les affirmations antérieures.

Il faut préciser que ces mouvements sont controlés par des failles de type normal ou inverse . D'autre part, les zones positives ou négatives correspondent aux soulévements et aux affaissements régionaux.

Les différences de surfaces d'érosion entre les cours d'eau des ordres III et IV sont en général positives, ce qui indique que dans les époques postérieures à la genèse de ces cours d'eau, ces valeurs diminueront à cause du depôt de sédiments accumulés par l'érosion dans les aires de subsidence. Sur la carte correspondant (fig n° 8) aux différences d'érosion entre les cours d'eau d'ordres II et III , on voit que de nombreuses valeurs positives de la carte antérieure dominent mais il apparait une série d'aires de subsidences résultant de mouvements postérieurs. Ces aires recoivent les sédiments produits par les érosions des surfaces antérieures.

La carte de différence d'érosion des ordres III et IV (fig n° 9)

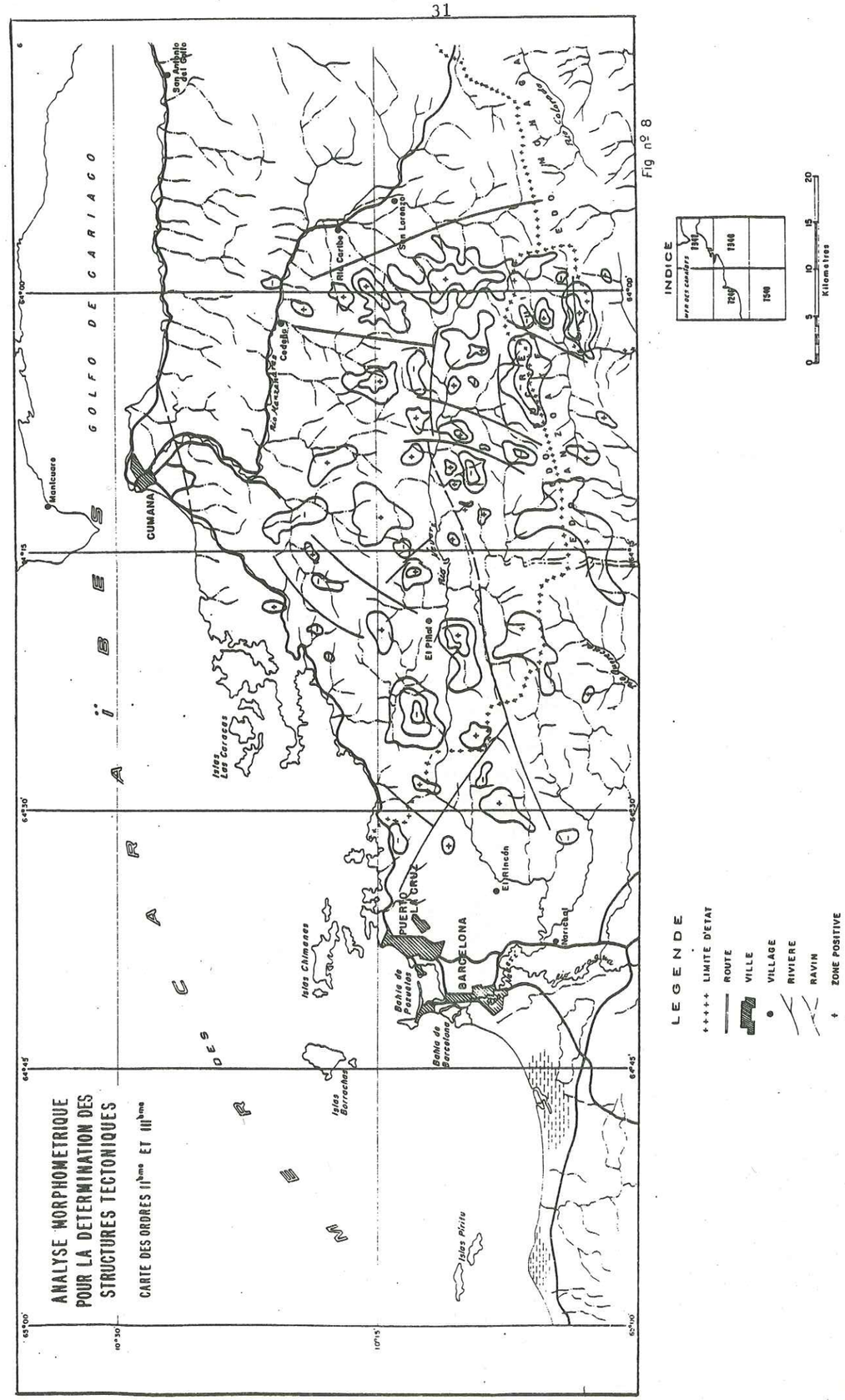


Fig n° 8

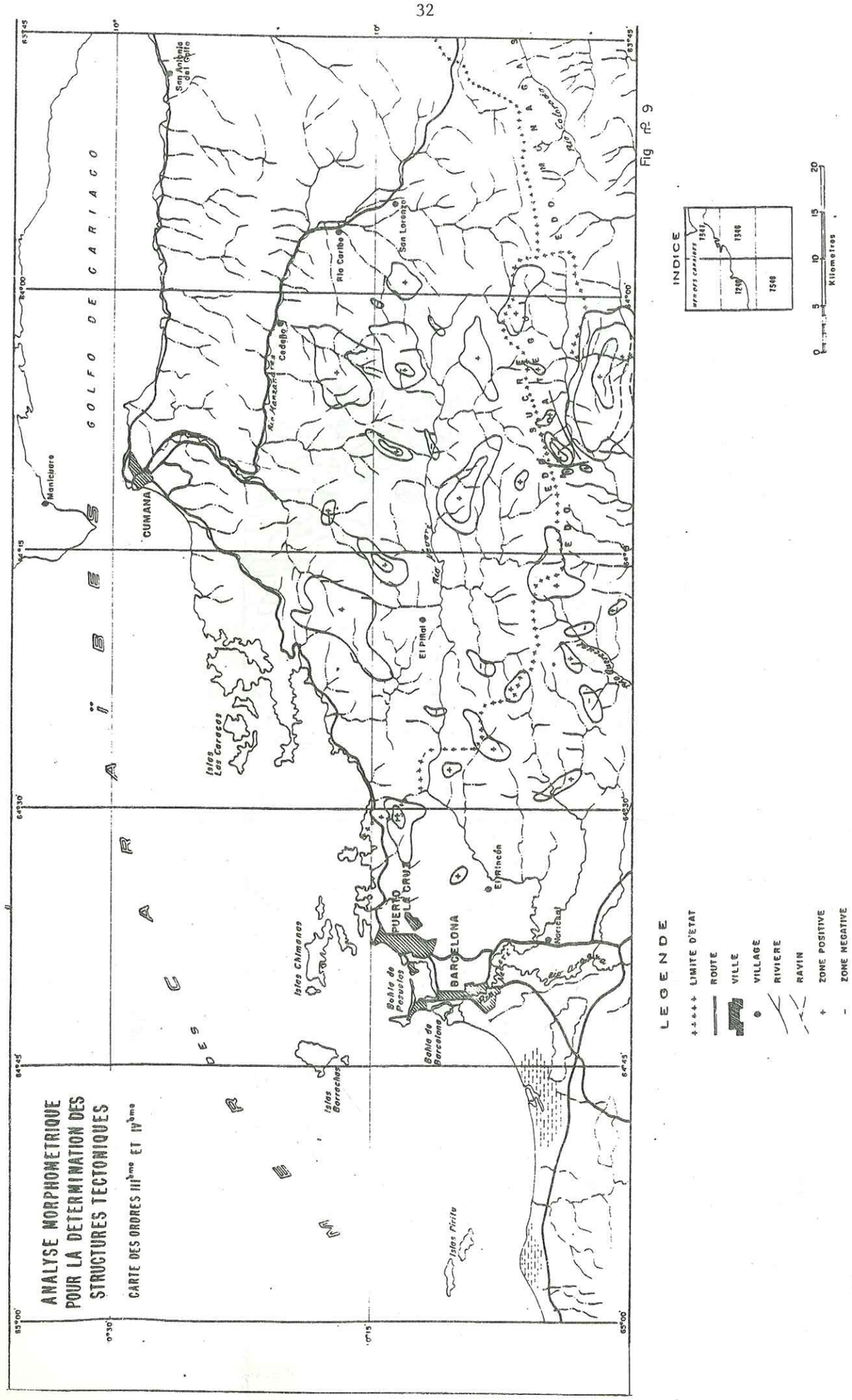


Fig nº 9

indique qu'au point de vue tectonique la région étudiée était relativement stable à l'époque de la formation de ces cours d'eau.

Il n'en est pas de même pour les cours d'eau d'ordres II et III dont la carte indique le commencement d'une intense activité tectonique.

Au point de vue hydrogéologique, l'analyse morphométrique a permis de déterminer les relations entre la lithologie, la structure et l'infiltration. Ces relations sont mises en évidence sur les cartes de densité de drainage et sur la carte de différences de surface d'érosion. Effectivement, les valeurs minima de densité de drainage correspondent à des zones où l'infiltration est maximale, car la lithologie n'a pas permis la formation de drains superficiels; c'est à dire que toute l'eau precipitée s'infiltre; au contraire dans les zones de soulèvement dont les densités de drainage sont trés grandes, le ruissellement est aussi très important à partir de ces zones vers les aires de subsidence et vers la mer.

3.7- CONCLUSIONS

L'analyse morphométrique de la densité de drainage a permis de déterminer que d'une façon générale les roches affleurantes sont imperméables ou peu perméables. En général, les aires avec les depôts perméables sont trés localisées le long de plaines côtières et dans les plaines alluviales des rivières Santa Fe, Barbacoas, Manzanares. Dans cette zone la tectonique tertiaire et pléistocène a joué un rôle assez important dans l'évolution géomorphologique. L'intensité de l'orogénèse et de la tectonique cassante (failles) a conditionné la distribution des paysages.

En accord avec la carte néotectonique élaborée, on observe une série de structures (positives et négatives) et de failles dont l'existence à été verifiée sur le terrain et aussi sur les images radar.

CHAPITRE 4

4- HYDROCLIMATOLOGIE

4.1- CLIMATOLOGIE

4.1.1- LE CLIMAT
4.1.2- CLASSIFICATION CLIMATOLOGIQUE REGIONALE
4.1.3- PLUVIOMETRIE
4.1.4- TEMPERATURES ATMOSPHERIQUES
4.1.5- HUMIDITE, ENSOLEILLEMENT ET VENTS
4.1.6- CALCUL DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE
4.1.7- EVAPORATION
4.1.8- EVAPOTRANSPIRATION
4.1.9- LAME D'EAU ET VOLUMES RUISSELES

4.2- HYDROLOGIE DE SURFACE

4.2.1- GENERALITES
4.2.2- RESEAU HYDROGRAPHIQUE
4.2.3- REGION DE BARCELONA
4.2.4- REGION DE CUMANA
4.2.5- ANALYSE DES COURBES DE TARISSEMENT POUR L'ESTIMATION DES RESSOURCES
4.2.6- CALCUL DE LA DIFFUSIVITE HYDRAULIQUE
4.2.7- BILAN HYDROLOGIQUE
4.3- CONCLUSIONS

4- HYDROCLIMATOLOGIE

4.1- CLIMATOLOGIE

4.1.1- LE CLIMAT

Le climat de la région est caractérisé par un contraste saisonnier dans le régime pluviométrique entre deux périodes bien définies:

- Une période séche qui va de décembre à mai où les précipitations sont faibles et même nulles.

- Une période humide qui s'étend du mois de juin jusqu'à novembre; la durée des précipitations y est variable.

En général, on observe deux mois plus chauds; l'un à la fin de la période de sécheresse et l'autre à la fin de la saison des pluies. Les deux mois les plus froids se trouvent en décembre et janvier.

4.1.2- CLASSIFICATION CLIMATOLOGIQUE REGIONALE

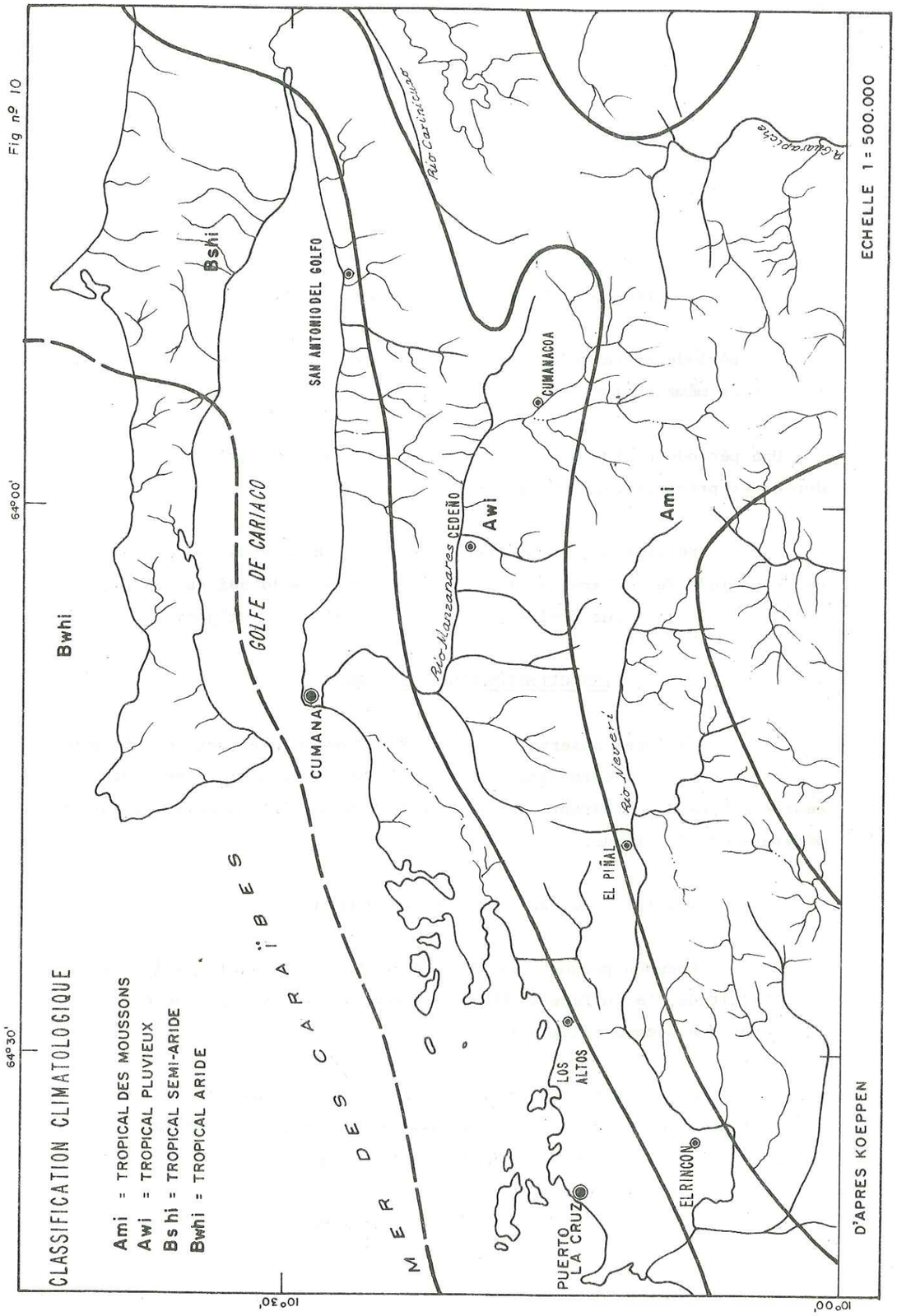
Diverses observations empiriques ont été effectuées par plusieurs auteurs pour déterminer la classification climatique régionale en tenant compte de différents facteurs tels que les précipitations, la température et l'altitude.

4.1.2.1- Classification de Koeppen

Koeppen propose une classification où le facteur climatique est l'altitude. La surface étudiée comprend plusieurs types de climats ou plutôt des étages climatiques.

Sur la côte, le climat qui domine est semi-aride (Bshi); dans l'intérieur c'est le tropical pluvieux (Awi); et sur les hauteurs c'est le tropical des moussons (Ami); fig n° 10.

4.1.2.2- Classification de Thornthwaite



Thornthwaite propose une classification basée sur la combinaison de certains paramétres d'évapotranspiration, de température.

La zone étudiée correspond à un ensemble de climats:

EdA'a (dont E signifie aride, d sans excès d'eau, A' chaud et a sans concentration de chaleur en été).

DdA'a (dont D signifie sec, les autres sigles ont la même signification que ci-dessus) fig n° 11.

Les zones arides résultent de phénomènes locaux dérivés de l'action du vent à prédominance nord-est (alizés) sur la mer des Caraïbes qui engendre des courants froids ascendants responsables de l'aridité

En général dans la région domine le climat aride comme dans presque toutes les régions côtières du Vénézuéla, avec une saison des pluies au milieu de l'année.

4.1.3- PLUVIOMETRIE

On dispose pour cette étude de données des précipitations dans 15 stations dont on a calculé les moyennes annuelles et le pourcentage en sélectionnant une période commune de 10 ans (1969-1978).

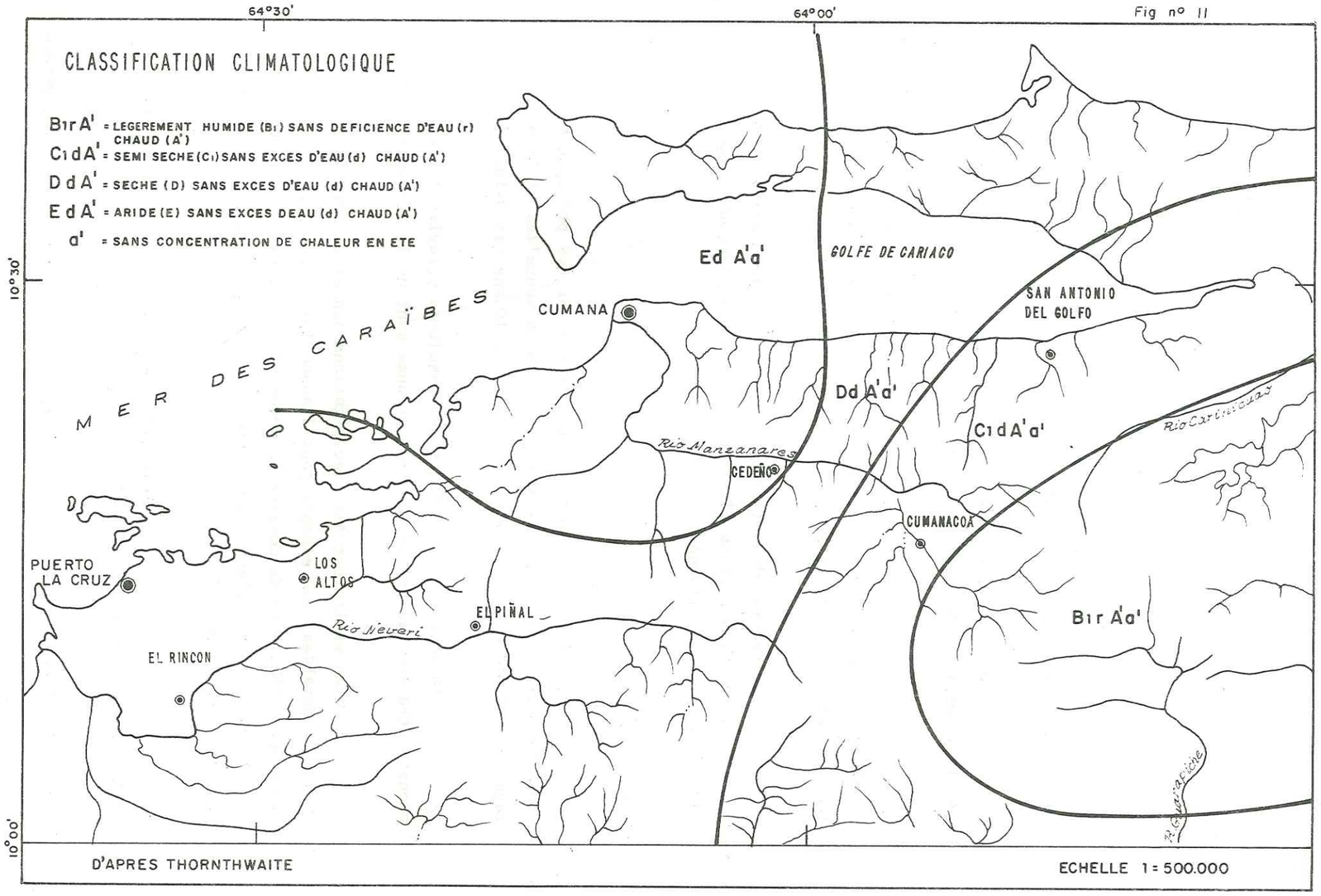
La moyenne arithmétique des résultats enregistrés sur 15 stations montre que les précipitations moyennes sont de 1203 mm par an.

Les variations des précipitations annuelles dans la région sont considérables; par exemple pour l'année 1970, les précipitations atteignent 1652 mm, année considerée comme étant la plus humide de la période; par contre, l'année 1977 avec 950 mm est considerée comme la plus séche de la période.

Les distributions mensuelles des précipitations pour la zone étudiée sont portées sur le tableau n° 1; fig n°12.

Dans la partie basse de la région, les précipitations moyennes

Fig nº 11



Précipitations mensuelles de la région de Puerto la Cruz-Cumana pour la période 1969/1978 (en mm)

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1969	29.3	24.4	4.7	23.1	47.0	164.4	169.2	373.7	189.7	170.7	152.6	91.7	1440.5
1970	19.0	10.4	17.7	29.7	104.2	245.2	419.6	238.2	231.9	141.4	98.5	96.9	1652.7
1971	13.5	7.6	13.3	14.5	54.6	69.6	175.4	231.3	237.9	227.7	115.5	67.9	1228.8
1972	47.1	27.3	30.0	42.6	116.8	118.1	136.7	134.2	138.5	151.0	114.9	40.4	1097.6
1973	4.8	4.6	0.8	20.1	30.7	83.8	88.8	297.0	194.9	170.5	185.1	63.5	1144.6
1974	16.5	10.1	22.3	3.1	51.6	26.9	112.5	183.8	274.8	196.5	54.9	18.3	971.3
1975	7.8	3.0	5.0	13.8	65.7	49.2	162.0	250.5	209.6	199.0	130.9	91.8	1188.3
1976	18.8	24.7	21.5	31.1	18.9	111.5	206.3	172.1	138.0	173.4	105.2	40.8	1062.3
1977	1.8	0.3	7.6	15.2	40.4	203.9	125.8	132.4	152.9	176.3	85.0	8.2	949.8
1978	5.8	1.2	7.0	38.1	56.9	157.4	178.9	333.5	174.2	211.0	107.6	26.3	1297.9
Total	164.4	113.6	129.9	231.3	586.8	1230.0	1775.2	2346.7	1942.4	1817.5	1150.2	545.8	
Moy	16.4	11.4	13.0	23.1	58.7	123.0	177.5	234.7	194.2	181.8	115.0	54.6	1204.3

Tableau Nº1

VARIATIONS DES PRECIPITATIONS
DE LA REGION PTO. LA CRUZ-CUMANA (1969-1978)

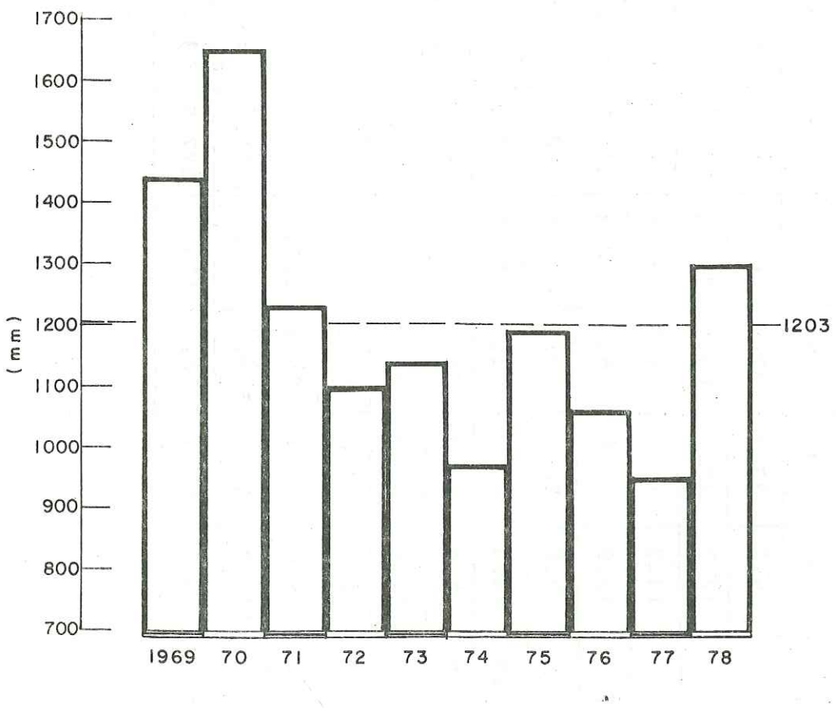


Fig. Nº12

atteignent de 400 à 500 mm selon les registres des stations Guanta et Cerro Sabino; et dans la partie haute de la zone, les précipitations sont beaucoup plus grandes et atteignent une valeur moyenne de 2100 à 2300 mm dans les stations de Bajo Negro et Bejuquero respectivement, (tableau n°2).

Comme la distribution des pluies n'est pas homogène pendant l'année, on essayera de définir un coefficient saisonnier.

Le coefficient pluviométrique mensuel est la relation entre la pluie moyenne mensuelle et la pluie fictive. Il indique la variation par rapport à une distribution uniforme. La pluie fictive mensuelle est de 99 mm pour les mois de 30 jours et de 102 mm pour les mois de 31 jours.

Si le coefficient est plus petit que 1, le mois est consideré sec. Les mois qui ont un coefficient pluviométrique supérieur à 1 sont considerés humides.

Les résultats montrent que le coefficient le plus élevé correspond au mois d'août avec 2.3 (mois le plus humide), et le coefficient le plus bas correspond au mois de février avec 0.12 (mois le plus sec). Tous ces résultats sont portés sur le tableau n° 3 fig n°13.

Pour l'année 1970, l'indice pluviométrique fut de 1.37 (année la plus humide), et pour l'année 1977, il fut de 0.79 (année la plus sèche de la période considerée), tableau n°4.

En conséquence, pendant les années humides, l'évapotranspiration est peu importante dans cette région et les précipitations augmentent considérablement les réserves souterraines.

Pendant la saison des pluies, qui dure environ 6 mois, il tombe entre 85 et 90% des précipitations totales annuelles laissant pour les six mois restants (saison sèche), entre 15 et 10% des précipitations totales annuelles. Dans le tableau n° 5 , on montre les pourcentages des précipitations saisonnières.

4.1.4- TEMPERATURES ATMOSPHERIQUES

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

Stations climatologiques et pluviométriques

(1969-1978) Tableau №2

STATIONS	ETAT	TYPE	NUMERO D'IDEN.	LAT	LONG.	ALT.	Pm(mm)
Guanta	AN	PR	1754	10° 14'06"	64° 35'45"	32	527
Pto la Cruz	AN	PR	1753	10° 13'38"	64° 37'55"	9	444
El Chaparro	AN	PR	1756	10° 13'33"	64° 31'42"	438	826
Vega Grande	SU	PR	1879	10° 10'50"	64° 25'37"	200	1781
Bajo Negro	SU	PR	1877	10° 10'06"	64° 20'33"	230	2259
El Guayabo	SU	PR	1878	10° 10'08"	64° 17'12"	248	2017
Nurucual	SU	PR	1875	10° 17'10"	64° 22'39"	16	928
El Guamal	SU	PR	1809	10° 13'36"	64° 13'38"	635	2122
Bejuquero	SU	PR	1880	10° 16'04"	64° 09'27"	320	2312
Cancamure	SU	C2	1705	10° 19'20"	64° 12'08"	80	1451
Guaripa	SU	PR	1742	10° 21'22"	64° 09'34"	40	1034
Brasil	SU	PR	1709	10° 25'36"	64° 10'35"	10	396
Cerro Sabilar	SU	PR	1737	10° 26'28"	64° 10'02"	20	372
Cerro Sabino	SU	C3	1749	10° 26'33"	64° 07'49"	40	384

16851.8

$\overline{Pm}$= 1203.7

PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES SAISONNIERES ET

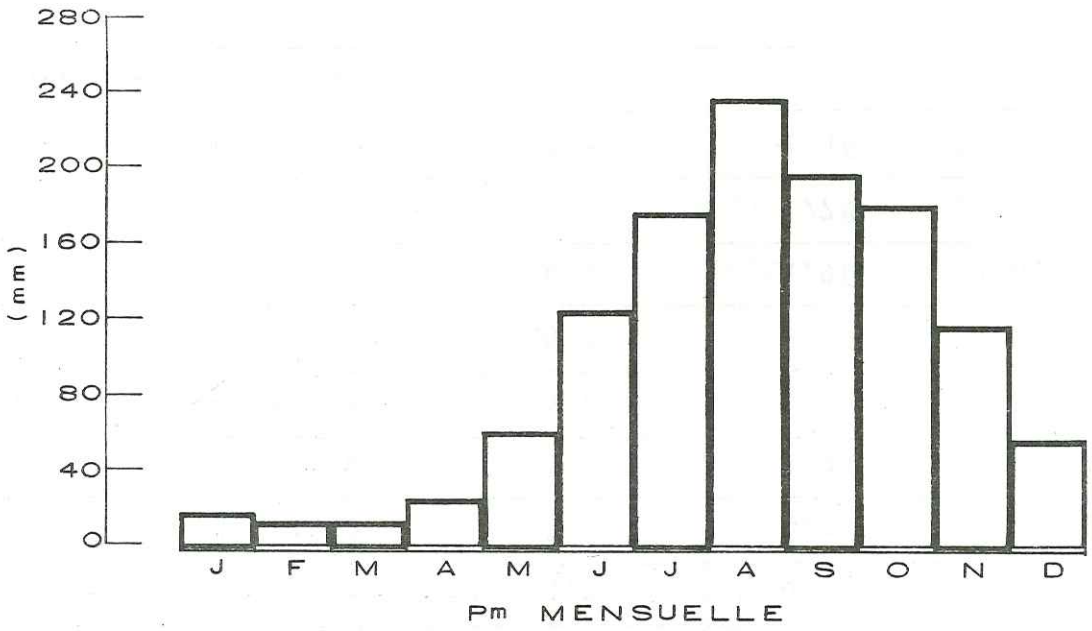
COEFFICIENT PLUVIOMETRIQUE

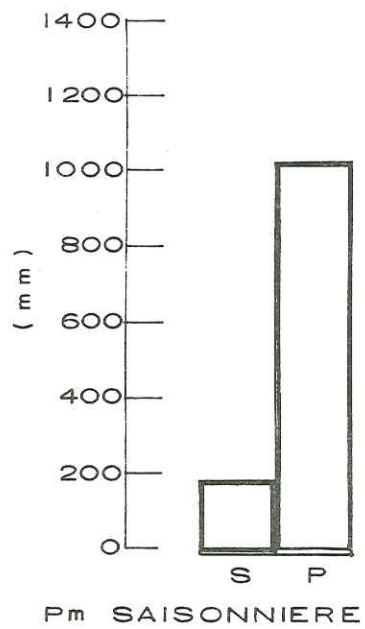
Mois	Moy. Mens.(mm)	%	Coef. Pluv. Mens.	(mm) Moy. Sais	% Sais	Coef. Pluv. Sais
Décembre	54.6	4.5	0.53	SECHE 177.2	14.7	0.29
Janvier	16.4	1.4	0.16			
Février	11.4	0.9	0.12			
Mars	13.0	1.1	0.13			
Avril	23.1	1.9	0.23			
Mai	58.7	4.9	0.57			
Juin	123.0	10.2	1.24	PLUVIEUX 1026.2	85.3	1.7
Juillet	177.5	14.8	1.74			
Août	234.7	19.5	2.30			
Septembre	194.2	16.1	1.96			
Octobre	181.8	15.1	1.78			
Novembre	115.0	9,6	1.16			
Moy. Annuelle	1203.4			1203.4		

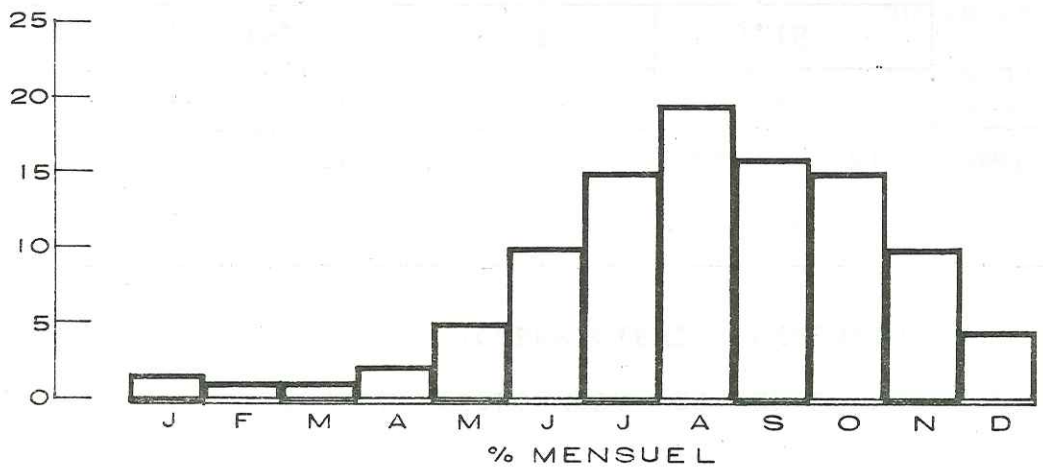
Tableau № 3

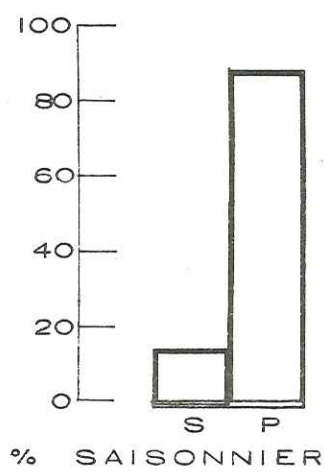
PRECIPITATIONS DE LA REGION PUERTO LA CRUZ - CUMANA (1969-1978)

Fig nº 13









Indices Pluviométriques Mensuels et Annuels (1969-1978)

Mois / Annees	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ind. Pluv. ann.
1969	1.79	2.14	0.36	1.00	0.80	1.34	0.95	1.59	0.98	0.94	1.33	1.68	1.20
1970	1.16	0.91	1.36	1.29	1.77	1.99	2.36	1.01	1.19	0.78	0.86	1.77	1.37
1971	0.82	0.66	1.02	0.63	0.93	0.57	0.99	0.99	1.23	1.25	1.00	1.24	1.02
1972	2.87	2.39	2.31	1.84	1.99	0.96	0.77	0.57	0.71	0.83	0.99	0.74	0.91
1973	0.29	0.40	0.06	0.87	0.52	0.68	0.50	1.27	1.00	0.94	1.61	1.16	0.95
1974	1.00	0.89	1.72	0.13	0.88	0.22	0.63	0.78	1.42	1.08	0.48	0.34	0.81
1975	0.48	0.26	0.38	0.60	1.12	0.40	0.91	1.07	1.08	1.09	1.14	1.68	0.99
1976	1.14	2.17	1.65	1.35	0.32	0.91	1.16	0.73	0.71	0.95	0.91	0.75	0.88
1977	0.10	0.03	0.58	0.66	0.69	1.66	0.71	0.56	0.79	0.97	0.74	0.15	0.79
1978	0.35	0.11	0.54	1.65	0.80	1.28	1.01	1.42	0.90	1.16	0.94	0.48	1.08

Tableau Nº4

PRECIPITATIONS ET POURCENTAGES SAISONNIERS DE LA PERIODE (1969-1978)

Tableau Nº 5

Années	Précipitations saisonnieres (mm)		Pourcentages	
	Seche	Humide	Seche	Humide
1969	220.2	1220.3	18.3	81.7
1970	277.9	1374.8	23.1	76.9
1971	171.4	1057.4	14.2	85.8
1972	304.2	793.4	25.3	74.7
1973	124.5	1020.1	10.3	89.7
1974	121.9	849.4	10.1	89.9
1975	187.1	1001.2	15.5	84.5
1976	155.8	906.5	12.9	87.1
1977	73.5	876.3	6.1	93.9
1978	135.3	1162.6	11.2	88.8

Les données des températures atmosphérique ont été tirées des registres existant dans la région. Elles couvrent la période 1969-1978.

Le tableau n° 6 montre les températures moyennes mensuelles, moyennes maximales et moyennes minimales. La température moyenne annuelle est de 26.9°C. La température minimale absolue est de 16.3°C en février 1970 et la température maximale absolue est de 35.9°C en octobre 1977. Les températures moyennes d'un même mois sur 10 ans varient de 1.5°C à 3.5°C; les variations les plus faibles s'observent pendant le mois le plus sec (février) et les variations les plus grandes pendant le mois le plus humide (août), fig n°14 .

4.1.5- HUMIDITE, ENSOLEILLEMENT ET VENTS

Le cycle annuel d'humidité relative à Puerto la Cruz-Cumana est sensiblement uniforme, bien qu'il reflete la distribution des pluies pendant l'année.

L'humidité relative moyenne est de 69% (tableau n° 7). Comme nous l'avons dit précédement, le mois le plus humide est le mois d'août avec un taux moyen d'humidité de 74% et le mois le plus sec est celui de février avec un taux d'humidité de 61%.

La nébulosité et l'ensoleillement sont assez uniforme L'ensoleillement est naturellement plus fort et la nébulosité plus faible pendant les mois secs.

Les vents prédominants sont les alizés de direction est et nord est. Ce sont en général des vents secs qui perdent leur humidité sur la mer, déssèchant ainsi la région côtière.

Les vents de direction sud-sud est sont provoqués par l'effet du front intertropical et sont notables pendant les mois de mai à septembre.

4.1.6- CALCUL DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE

4.1.6.1- Méthode des isohyètes

Températures moyennes mensuelles et annuelles en ºC de

la région de Puerto la Cruz - Cumana. (1969-1978)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
Moy. Max.	31.6	32.0	32.5	32.9	33.1	32.5	31.9	32.2	32.5	33.0	32.6	32.0	32.4
Moy. Min.	19.5	20.1	20.6	21.7	22.5	22.6	22.0	21.6	21.8	21.7	21.3	20.5	21.4
Moy. Mens.	25.6	26.2	26.6	27.3	27.8	27.6	27.0	26.9	27.2	27.5	27.1	26.3	26.9

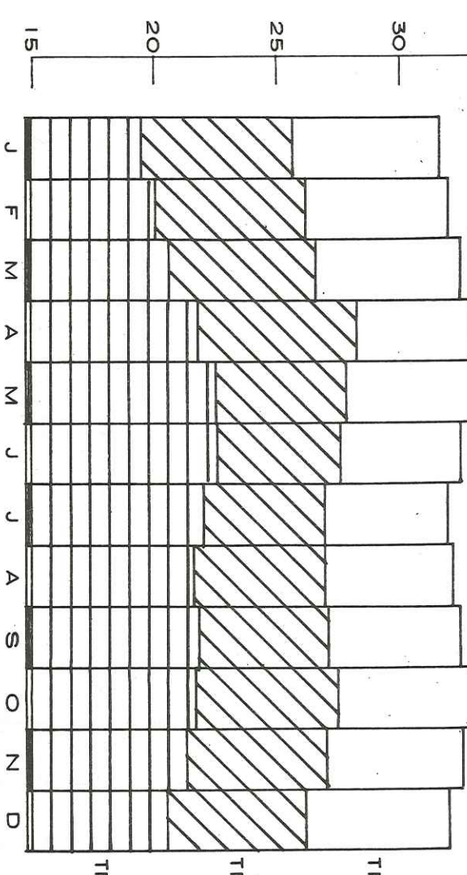
Températures moyennes, maximales et minimales absolues de la région.

(1969-1978)

Moy. Max.	33.2	33.5	34.5	34.5	34.3	33.9	33.6	34.3	34.2	34.6	34.2	33.5	34.6
Moy. Min.	17.2	17.5	18.5	19.6	20.0	20.5	19.5	20.2	20.3	19.4	19.4	18.3	18.3

Tableau Nº 6

TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES
EN ºC DE LA REGION PUERTO LA CRUZ-CUMANA (1969-1978)



TEMPERATURES MOYENNES MAXIMALES ET MINIMALES ABSOLUES
DE LA REGION PUERTO LA CRUZ-CUMANA. (1969-1978)

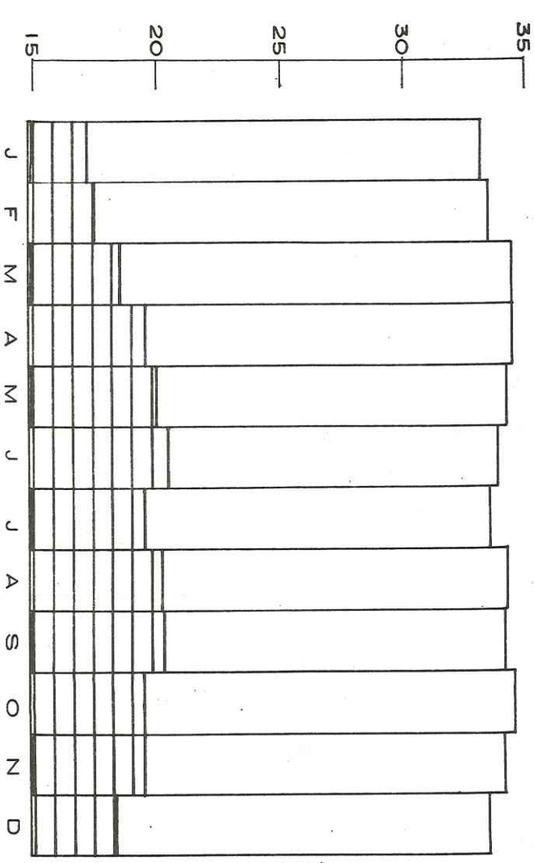


Fig. Nº 14

Evaporation Moyenne Mensuelle dans la région de Puerto la Cruz - Cumana

1969 - 1978 (en mm)

Mois	J	F	M	A	S	O	N	D	Ann.	Moy
Evap. Moy.	227.4	235.4	275.1	266.9	203.1	202.9	197.3	205.7	2869.8	223.9

Humidité relative moyenne mensuelle en % dans la région

Puerto la Cruz-Cumana.

Mois	J	F	M	A	S	O	N	D	Moy.
Moy.	68.6	61.0	63.1	66.3	68.0	68.6	71.0	72.3	68.5

Tableau Nº 7

Les précipitations moyennes annuelles de la région ont été calculées grâce à la carte des isohyètes, établie pour une période de 10 ans.(fig n° 15).

Le tableau n° 8 montre l'aire comprise entre chaque courbe isohyète et le volume des précipitations correspondant à chaque aire.

La pluie moyenne dans toute la région est de:

$$\bar{P} = \frac{1654 \times 10^6}{1228 \times 10^6} \quad m^3 / m^2$$

$$\bar{P} = 1347 \text{ mm}$$

En accord avec la carte élaborée, on observe une distribution plutôt régulière de la pluviosité annuelle, avec un minimum sur la côte et une augmentation assez brusque à mesure que l'on approche de la chaîne de montagne.

Pour calculer la lame d'eau précipitée, on a utilisé aussi les méthodes de Thiessen et celle de la moyenne arithmétique. Les résultats obtenus contrastent peu avec ceux fournis par la méthode des isohyétes.

4.1.6.2- Méthode de Thiessen

Les valeurs obtenues ont été les suivantes:

$\bar{P}$ = 1368 mm soit

V = 1680×10^6 m^3/an

4.1.6.3- Méthode de la moyenne arithmétique à partir de 15 stations.

$\bar{P}$ = 1203 mm soit

V = 1483×10^6 m^3/an

Valeurs des précipitations calculées à partir de la carte des courbes isohyètes de la région de Puerto la Cruz-Cumana (1969-1978)

Valeur des isohyètes	Précip. Moy.	Superf. Délim.		Volume déau
mm	mm	Km^2	%	précipité 10^6 m^3/an
100 - 300	200	26.0	2.17	5.20
300 - 500	400	47.1	3.84	18.40
500 - 700	600	127.1	10.35	76.26
700 - 900	800	122.8	9.99	98.24
900 - 1100	1000	138.1	11.25	138.10
1100 - 1300	1200	134.0	10.91	160.80
1300 - 1500	1400	120.3	9.79	168.40
1500 - 1700	1600	114.5	9.32	183.20
1700 - 1900	1800	116.4	9.48	209.50
1900 - 2100	2000	13[illegible].5	10.79	265.00
2100 - 2300	2200	132.6	10.79	291.70
au dessus 2300	2300	16.7	2.36	38.40
		1228.1	100.00	1653.40

$$\overline{Pm} = \frac{1653.40}{1228.10}$$

$$\overline{Pm} = 1346.3mm$$

Tableau Nº8

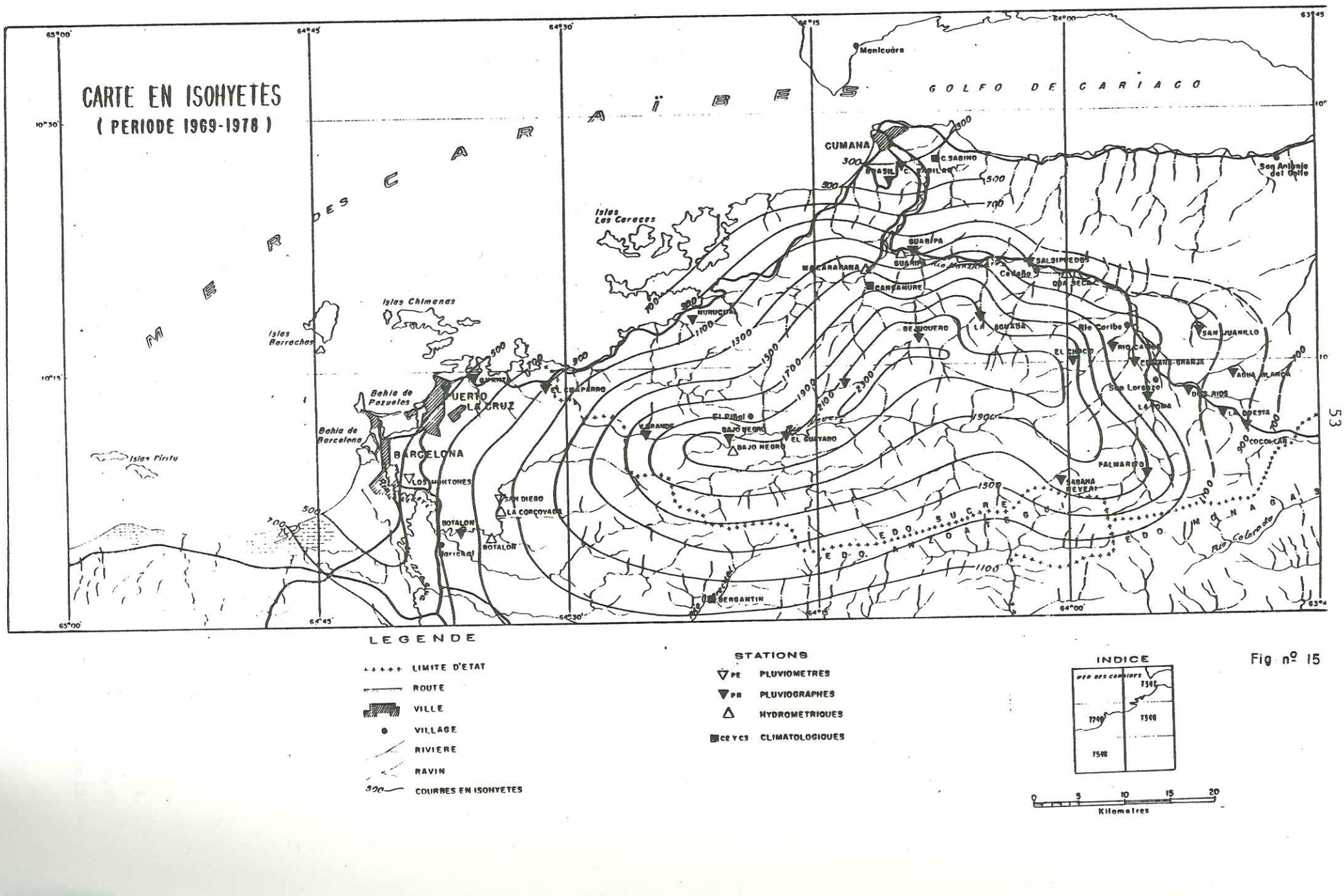


Fig nº 15

4.1.7- EVAPORATION

L'évaporation mesurée au bac évaporomètre type A à 5 stations est en moyenne arithmétique de 2870 mm.

Les valeurs extremes observées ont été de 198 mm pour le mois de juillet et de 275 mm pour le mois de mars (tableau n°7). Si on applique un facteur de conversion de 0.7 propre à un climat dont la moyenne annuelle d'humidité relative est de 69%, on obtient une évaporation annuelle de 2000 mm.

Le cycle annuel d'évaporation est en fait en relation inverse avec la distribution des pluies et en relation directe, sous certaines réserves, avec la distribution de la température.

4.1.8- EVAPO - TRANSPIRATION

4.1.8.1- Calcul de l'évapo-transpiration réelle annuelle.

4.1.8.1.1- Formule de L. Turc

La formule de Turc est basée sur la température moyenne annuelle et la précipitation moyenne annuelle.

$$Er = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$\bar{P}$ = Précipitation moyenne annuelle en mm

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$

T = Températures moyenne annuelle en °C

Les valeurs d'Er et L s'obtiennent à partir des séries de courbes adoptées pour la méthode de Turc.

Nous avons déterminé l'évapo-transpiration moyenne annuelle suivant la formule de Turc, qui à l'incovénient de fournir des valeurs sur estimées d'aproximativement 30% dans les régions où les précipitations sont concentrées sur une seule saison humide durant la quelle la

température est nettement inférieure à la température moyenne annuelle.

Les paramètres retenus pour évaluer l'évapo-transpiration réelle sont:

- Les précipitations moyennes annuelles

- Le gradient thermométrique moyen annuel (obtenu à partir des températures moyennes en altitude), tableau n°9.

Une fois calculé le gradient et en utilisant le tracé des isohyétes moyennes annuelles, on emploie la formule de Turc pour calculer et élaborer les courbes de l'évapo-transpiration réelle de la zone (fig n°16 tableau n° 10.

L'évapo-transpiration réelle moyenne (Er) ainsi obtenue atteint 1048 mm.

4.1.8.1.2- Formule de Thornthwaite

Le calcul de l'évapo-transpiration potentielle par cette méthode est basé sur une évaluation empirique. Pour calculer (Ep), il existe une abaque obtenue à partir de la formule:

$$Ep = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

où $I = \sum_1^{12} i$ $\qquad i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$

$$a = 0.49239 + 1.792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

où $a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$ (Serra)

Ep = Evapo-transpiration potentielle mensuelle en mm

I = Indice thermique annuel

i = Indice thermique mensuel

T = Température moyenne mensuelle en °C

Valeurs des Evapotranspirations :Méthode de Turc.

STATIONS	PREC. MOY.	ALTITUDE	GEOT.	L	ETR.	R
	(mm)	(m)	(ºC)		(mm)	(mm)
Puerto la Cruz	444	4	30.3	2430	430	14
Guanta	527	32	29.9	2370	520	7
El Chaparro	826	438	28.2	2140	775	51
Vega Grande	1781	200	29.1	2240	1480	301
Bajo Negro	2259	230	29.0	2230	1560	699
Nurucual	928	16	30.2	2410	880	48
El Guayabo	2017	248	28.9	2210	1540	477
El Guamal	2122	635	27.6	2000	1480	642
Bejuquero	2312	320	28.6	2160	1640	670
Cancamure	1451	80	29.7	2330	1250	201
Guaripa	1034	40	30.0	2375	980	54
Brasil	396	10	30.2	2410	400	-4
Cerro Sabilar	375	20	29.9	2370	370	-2
Cerro Sabino	384	40	29.9	2370	375	9

Tableau Nº9

VALEURS DES EVAPOTRANSPIRATIONS CALCULEES A PARTIR DE LA CARTE DES COURBES DES ETR DE LA REGION DE PUERTO LA CRUZ - CUMANA (1969 - 1978)

Valeurs des Evapotransp. (mm)	Evapotransp. Moyenne (mm)	Superf. Delim. Km^2	%	Volume d'eau Precip. 10^6 m^3/an.
300 - 500	400	149.0	12.13	59.6
500 - 700	600	152.5	12.41	91.5
700 - 900	800	155.8	12.68	124.6
900 - 1100	1000	151.6	12.34	151.6
1100 - 1300	1200	164.8	13.42	197.8
1300 - 1500	1400	195.2	15.89	273.3
au dessus 1500	1500	259.4	21.12	389.1
		1228.3	100.00	1287.5

$$\overline{Em} = \frac{1287.5 \times 10^6}{1228.3 \times 10^6}$$

$$\overline{Em} = 1048.2 \text{ mm}$$

Tableau Nº 10

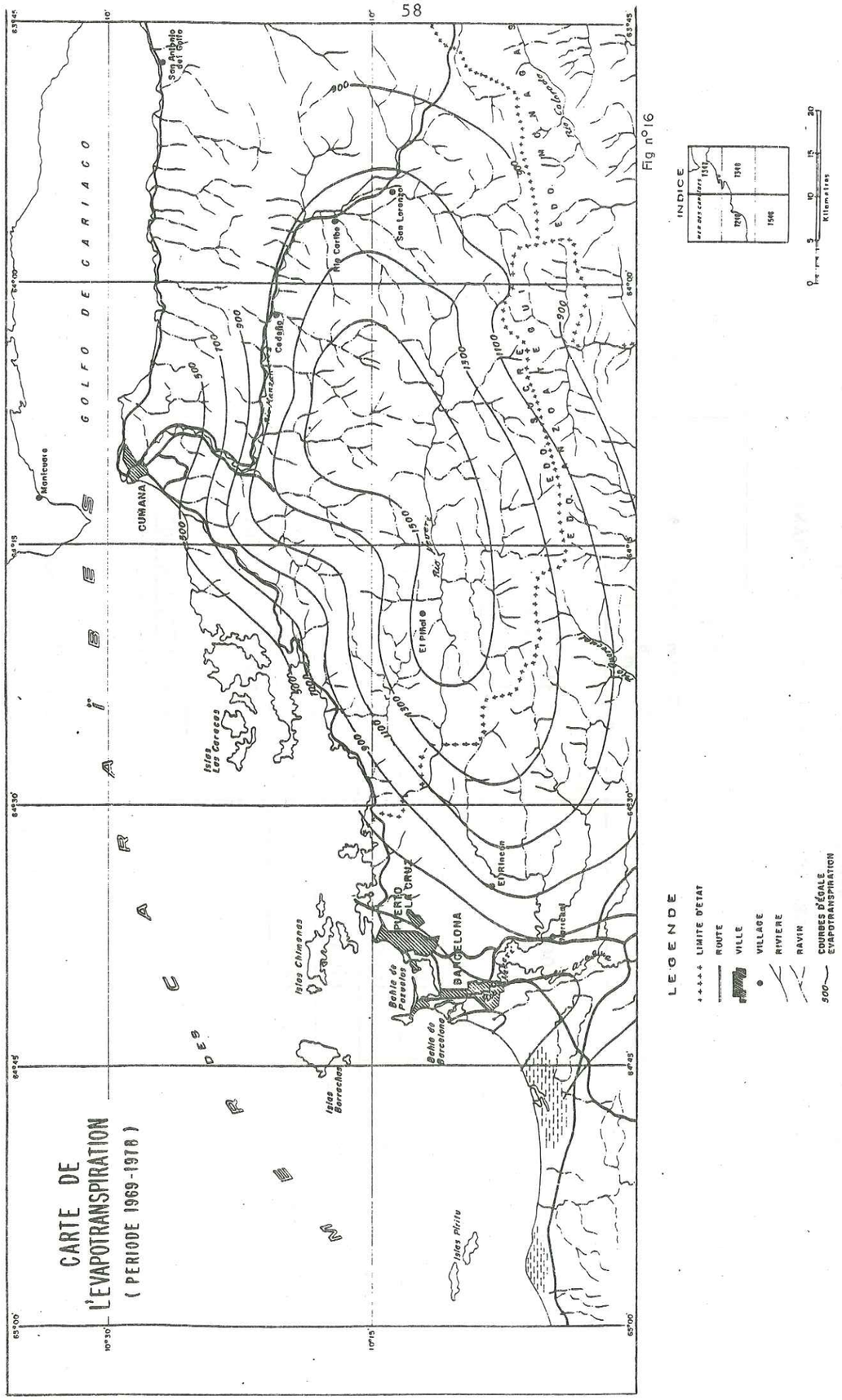


Fig n°16

L'indice thermique est calculé à l'aide des tables classiques en tenant compte de la latitude et de la température.

L'évapotranspiration potentielle calculée par cette méthode est de 1735 mm pour la période 1969-1978. Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau n° 11.

On suppose que la réserve d'eau idéale dans le sol est de 100 mm et on établit mois par mois le bilan de l'évapotranspiration réelle.

En accord avec le tableau, nous pouvons observer qu'à la fin du mois de juillet, la réserve d'eau utile est de 30 mm; à la fin des mois d'août, septembre et octobre, la réserve atteint 100 mm et à la fin du mois de novembre elle est de 77 mm.

Ceci signifie que pendant ces quatre mois, les précipitations moyennes (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle (Ep); si l'on admet que la limite de saturation de la réserve du sol est de 100 mm à la fin du mois d'août l'excédent est supérieur à 20 mm, à la fin de septembre il dépasse 45 mm et à la fin d'octobre il dépasse 31 mm. Donc l'excedent total annuel est de 96 mm qui servent à alimenter les eaux souterraines ou le ruissellement.

Quant au calcul de l'évapotranspiration réelle (Er) deux cas se présentent:

- Si la précipitation moyenne mensuelle (P) est égale ou supérieure à l'évapotranspiration potentielle (Ep) l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle.

- Si la précipitation mensuelle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle;(Er) est égale à l'évapotranspiration potentielle (Ep) jusqu'à l'épuissement de la réserve d'eau dans le sol.

Après l'épuissement total de la réserve d'eau, l'évapotranspiration réelle est égale à la précipitation .

L'évapotranspiration réelle moyenne obtenue à partir de la

méthode de Thornthwaite atteint une valeur de 1103 mm.

Le tableau n° 11 montre les résultats du bilan hydrologique.

Les résultats obtenus par la méthode de Turc et celle de Thornthwaite sont très proches l'un de l'autre et leur précision est assez satisfaisante. Le bilan hydrologique de la région Puerto la Cruz-Cumana est montré sur la figure n° 17.

4.1.9- LAME D'EAU ET VOLUME RUISSELES

Les valeurs moyennes annuelles des précipitations (P) et de l'évapotranspiration (Er) pour une période de 10 ans étant connues, nous pouvons calculer la lame d'eau ainsi que les volumes ruisselés.

On a superposé les deux ensembles de courbes (P et Er). En faisant la différence de ces valeurs aux points d'intersection, on obtient la lame d'eau ruisselée annuelle, représentative de l'unité de surface. On a pu ainsi tracer les courbes d'égal ruissellement, (la fig n°18 et le tableau n° 12 montre ces valeurs).

Le ruissellement moyen annuel (R) pour la zone selon la méthode de Turc serait de 295 mm.

4.2- HYDROLOGIE DE SURFACE

4.2.1- GENERALITES

La dynamique fluviale est conditionnée par l'aptitude des rivières à transiter les volumes d'eau disponibles pendant la période de crue.

La longueur et l'amplitude respectives des rivières sont en relation avec les grands traits topographiques. La fig n° 19 montre la densité de drainage existant dans la région étudiée.

4.2.2- RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Bilan hydrologique à partir de la méthode de C. W. Thornthwaite (1957). Tableau N°11

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
T °C	25.6	26.2	26.6	27.3	27.8	27.6	27.0	26.9	27.2	27.5	27.1	26.3	26.9
i	11.9	12.3	12.6	13.1	13.4	13.3	12.8	12.8	13.0	13.2	12.9	12.3	153.6
Ep non corrigée mm	3.7	4.5	4.3	4.9	5.1	5.1	4.5	4.5	4.8	4.9	4.8	4.1	
K	30.0	27.3	30.9	30.9	32.4	31.8	32.4	32.1	30.6	30.6	29.4	29.7	
Ep corrigée mm	112.0	148.0	134.0	153.0	166.0	164.0	149.0	145.0	149.0	151.0	141.0	123.0	1735.0
P moyenne mm	16.0	11.0	13.0	21.0	59.0	123.0	178.0	235.0	194.0	182.0	115.0	52.0	1199.0
P - Ep	-96.0	-137.0	-121.0	-132.0	-107.0	-41.0	29.0	90.0	45.0	31.0	-26.0	-71.0	
Er mm	39.0	22.0	15.0	21.0	59.0	123.0	149.0	145.0	149.0	151.0	138.0	92.0	1103.0
Variation de la réserve d'eau du sol	-23.0	-11.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	29.0	70.0	0.0	0.0	-23.0	-40.0	
Réserve d'eau utile	14.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	30.0	100.0	100.0	100.0	77.0	37.0	
Déficit	73.0	126.0	119.0	152.0	107.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	31.0	632.0
Excédents	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	45.0	31.0	0.0	0.0	96.0

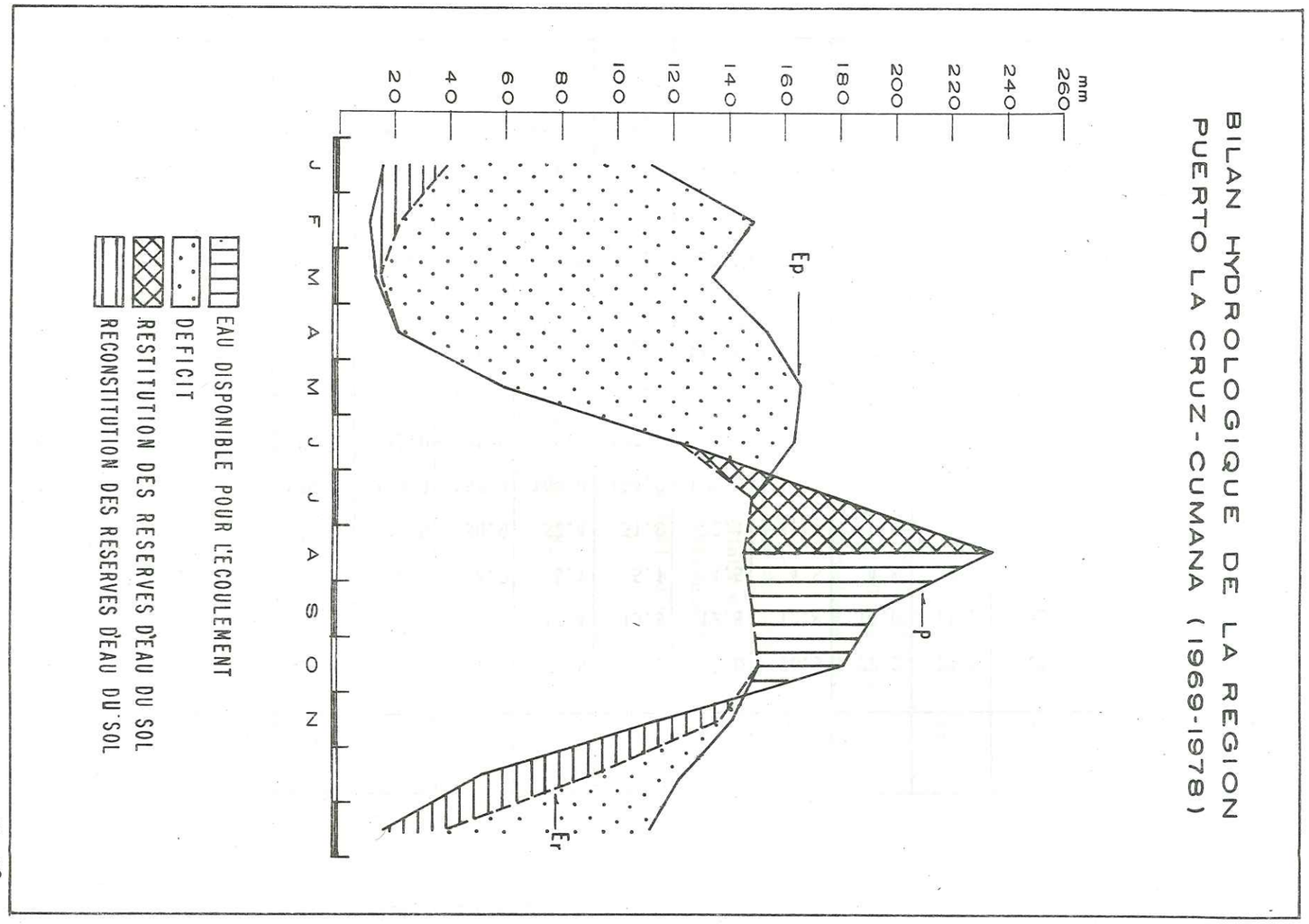


Fig. Nº 17

VALEURS DE RUISSELLEMENT CALCULEES A PARTIR DE LA CARTE DES COURBES DE RUISSELLEMENT DE LA REGION PUERTO LA CRUZ CUMANA (1969 - 1978)

Valeurs de ruissel.(mm)	Ruissellement moyen (mm)	Superf. Delim. Km^2	%	Volume d'eau précipité $10^6 m^3$/an
inf. a 0	0	41.3	3.36	0
0 - 100	50	206.2	16.79	10.3
100 - 300	200	440.1	35.84	88.0
300 - 500	400	325.0	26.47	130.0
500 - 700	600	169.4	13.79	101.6
Sup. 700	700	40.0	3.75	32.2
		1228.0	100.00	362.1

$$\bar{Rm} = \frac{362.1 * 10^6}{1228.0 * 10^6}$$

$$\bar{Rm} = 294.9 \text{ mm}$$

Tableau nº 12

CARTE DE RUISSELLEMENT

(PERIODE 1969-1978)

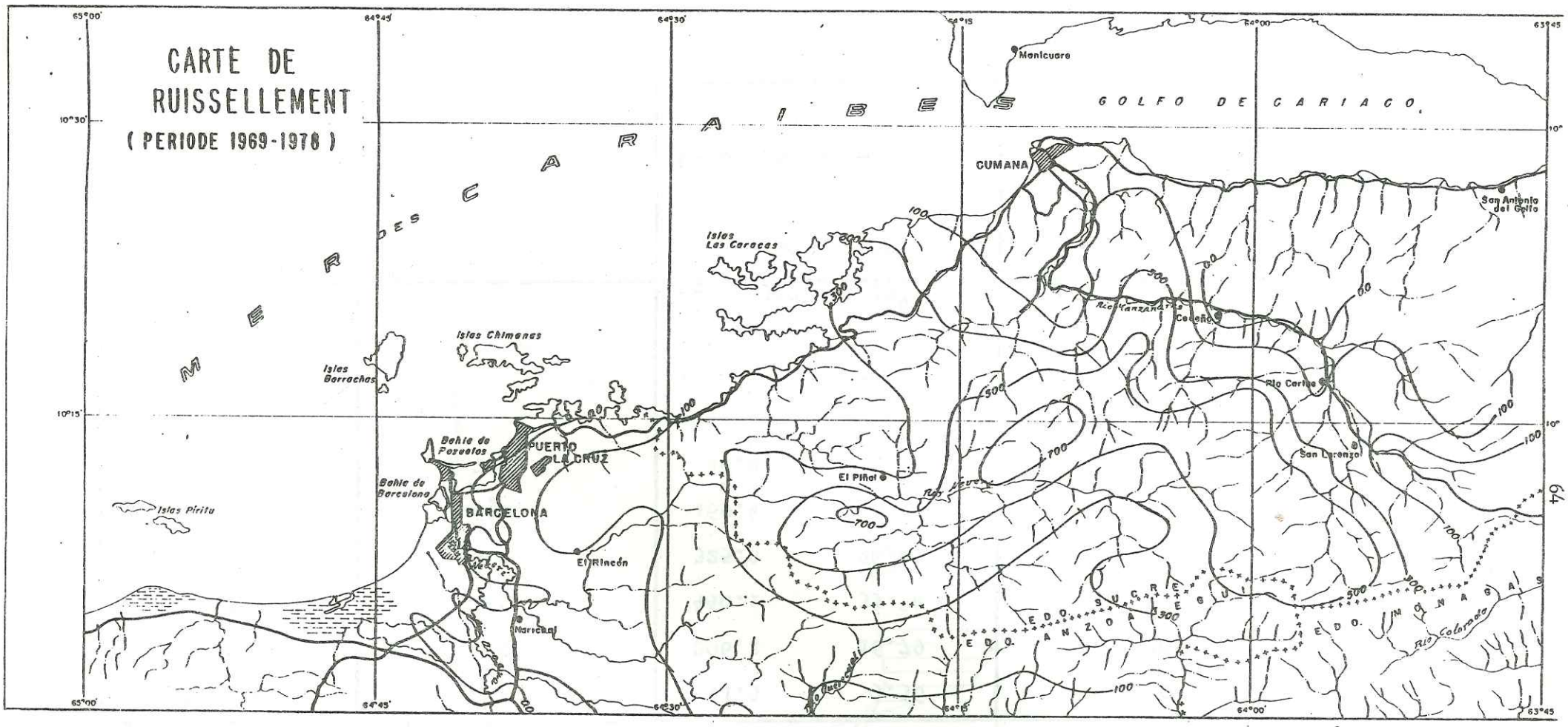
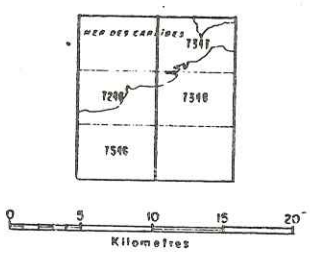


Fig nº 18

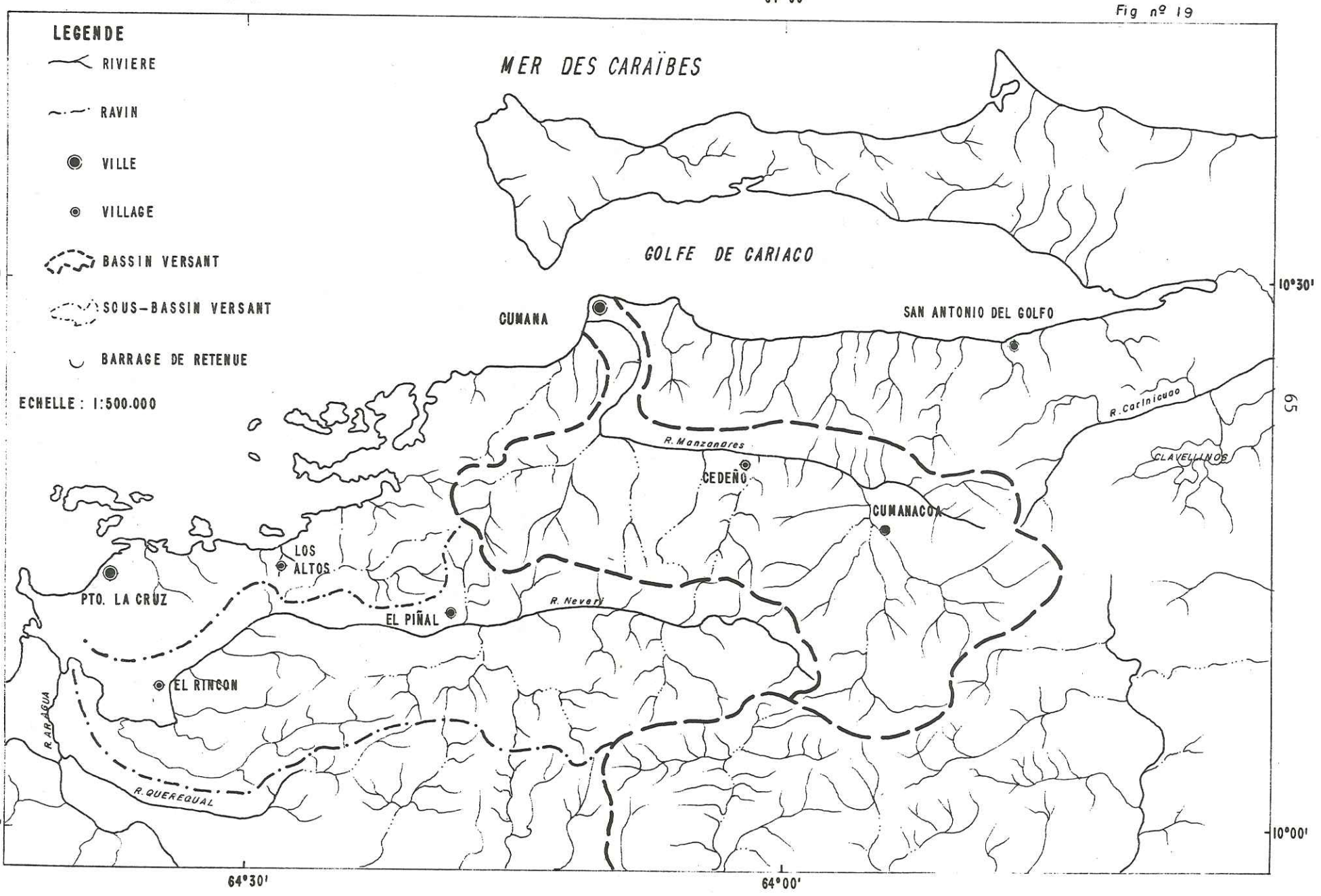
LEGENDE

- LIMITE D'ETAT
- ROUTE
- VILLE
- VILLAGE
- RIVIERE
- RAVIN
- 500 COURBES D'ÉGALE RUISSELLEMENT



RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA REGION PTO. LA CRUZ — CUMANA

Fig nº 19



Les cours d'eau de la région appartiennent au versant de la mer des Caraïbes (fig n°20). On a delimité les bassins versants du Neveri, du Manzanares et d'autres cours d'eau qui vont directement à la mer.

La région étudiée couvre une surface de 1228 Km^2 répartie de la maniére suivante:

- Une partie du sous-bassin du Neveri 430 Km^2
- Une partie du bassin du Manzanares 342 Km^2
- Rivières qui vont directement à la mer des Caraïbes 456 Km^2

4.2.3- REGION DE BARCELONA

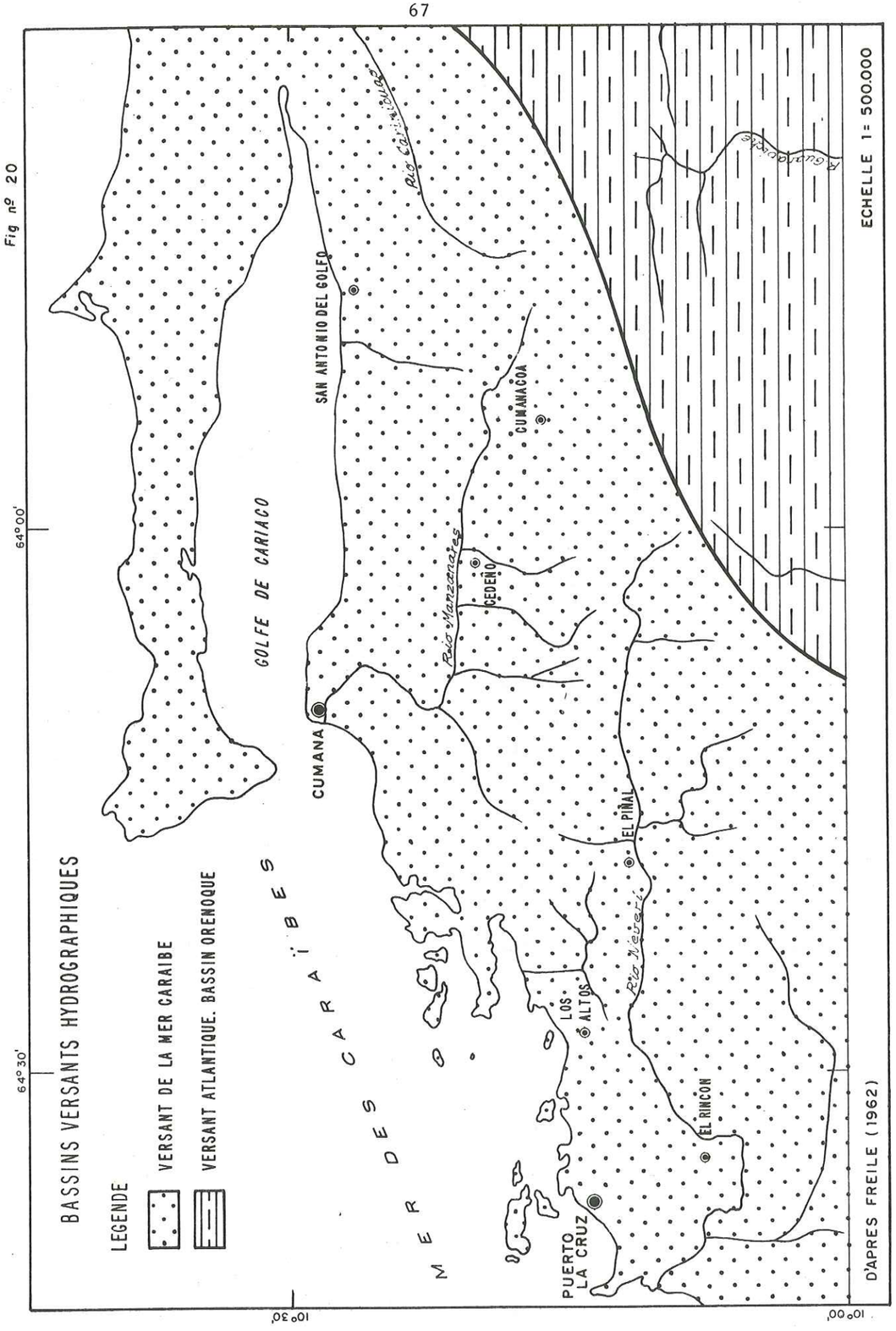
La rivière Neveri traverse la ville de Barcelona située dans l'état d'Anzoategui; elle naît dans le massif de Turimiquire et ses affluents principaux sont: l'Aragua, le Naricual, le Colorado, et le Guayabo.

Le bassin versant a une forme allongée avec un axe longitudinal est-ouest et une superficie de 948 Km^2 jusqu' à sa confluence avec l'Aragua; puis son axe prend une direction sud-nord traversant des terrains plats et s'élargissant sur la rive gauche grâce à l'apport du bassin versant de l'Aragua.

Finalement la rivière Neveri traverse la ville de Barcelona et aboutit à la mer des Caraïbes drainant ainsi une superficie totale de 4303 Km^2.

Le volume total du ruissellement dans le bassin versant du Neveri arrive à 1121 x 10^6 m^3/an; tandis que dans le sous-bassin considéré du même fleuve le volume du ruissellement est de 870 x $10^6 m^3$/an.

Le volume d'eau ruisselé sur la surface interessée par notre étude qui n'est q'une partie du sous bassin versant du Neveri est d'approximativement 172 x $10^6 m^3$/an.



Ces valeurs ont été calculées selon la méthode empirique de Turc sur une période de 10 ans (1969-1978).

4.2.3.1- L'Aragua

Il prend naissance au sommet du mont el Guacharo à 1300 m d'altitude. Il draine un bassin versant de 2944 Km^2. Il a quatre affluents principaux qui sont: le Capiricual, le Querequal, le Prespuntal, et l'Oregano.

L'Aragua a un volume de ruissellement d'environ 251 x 10^6 m^3/an.

4.2.3.2- Le Naricual

Il prend naissance à approximativement 900 m d'altitude, à 1 Km du site appelé Guanota, en passant au pied des villages el Frances, Sabana de Libertad, et Naricual pour finalement se jeter dans le Neveri.

4.2.3.3- Le Colorado

Il naît dans le site appelé las Vegas à 820 m d'altitude pour se jeter ensuite dans le Neveri.

4.2.3.4- Le Guayabo

Il est formé par la confluence de trois rivières, il prend naissance dans la chaîne de Peonia, passe au pied du village el Guayabo et jette dans le Neveri.

4.2.4- REGION DE CUMANA

Le Manzanares traverse la ville de Cumana capitale de l'état de Sucre. Il prend naissance dans le massif de Turimiquire, draine le bord le plus septentrional du massif par l'intermédiaire de ses affluents principaux qui sont: le Tataracual, le Brito, le Cedeño, et le Cancamure.

Le Manzanares a un cours orienté est-ouest jusqu'à sa confluence avec le Cancamure où le fleuve change brusquement de direction pour suivre une faille de décrochement orientée nord-ouest; puis arrive dans le golfe de Cariaco après avoir parcuru 80 Km^2.

Le bassin versant du Manzanares a un volume de ruissellement d'environ 697 x $10^6 m^3$/an.

Le volume d'eau ruisselée sur la surface étudiée, faisant partie du bassin versant du Manzanares est elle d'à peu près 102 x $10^6 m^3$/an.

4.2.4.1- Le Cancamure

Il est formé par la confluence de trois rivières et prend naissance dans la chaîne de la Copa à une altitude d'à peu près 1000 m.Il traverse le village de Cancamure pour se diriger vers le Manzanares.

4.2.4.2- Le Brito

Il est formé par la confluence de trois rivières, prenant naissance au mont de Rio Nuevo à une altitude d'environ 1200 m. Il traverse le village de Brito pour se jeter ensuite dans le Manzanares.

En outre, il y a plusieurs cours d'eau permanents qui vont directement vers le versant de la mer des Caraïbes.

Le plus grand, et le plus important de ceux-ci est le Santa Fe qui même en saison sèche a une section mouillée de 2 m^2 environ qui se multiplie par 10 ou 15 pendant la saison de pluies. La rivière inonde alors généralement les plaines du sud du village de Santa Fe.

Dans la région, il existe deux autres rivières d'importance. Ce sont le Yaguaracual et le Nurucual; toutes les deux traversent une zone de plaine basse et fertile avant d'arriver à la mer.

Les ruisseaux permanents sont courants. Ils amènent l'eau vers les villages et les plantations. Il existe aussi de petites sources au début de presque toutes les vallees même en période de sécheresse.

Le volume d'eau ruisselé calculé par la méthode de Turc est

d'environ 88 x 10^6 m^3/an.

Les volumes d'eau écoulés ont été mesurés dans trois stations de jaugeage pour la période (1969-1978). Ils atteignent des valeurs de 930 x 10^6 m^3/an pour le sous-bassin versant du Neveri à la station hydrométrique du Neveri à Botalon; et 632 x 10^6 m^3/an pour le bassin versant du Manzanares aux stations Manzanares à Guaripa et Cancamure à San Juan de Macarapana (tableau n° 13).

On contate donc que les volumes d'eaux ruisselés mesurés aux stations hydrométriques sont très proches de ceux calculés par la méthode de Turc.

4.2.5- ETUDE DU TARISSEMENT POUR L'ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

L'analyse des courbes de tarissement est importante pour l'étude des régimes des cours d'eau et des réserves en eaux souterraines. Ces courbes caractérisent le flot de base des fleuves et rivières, donc leur régime en période de déficit pluviométrique.

Le débit de l'écoulement global, Q, dans les cours d'eau, mesuré aux stations de jaugeage (mesures hydrométriques) est la somme des débits de l'écoulement de surface, Qr, et l'écoulement souterrain, Qw.

En première approximation les ressources en eaux souterraines peuvent être considerées comme égales au débit de l'écoulement souterrain annuel moyen.

L'analyse est basée sur le fait que le débit de l'écoulement souterrain global est égal au débit apporté aux cours d'eau par les aquifères en période non influencée par les précipitations ou en régime d'étiage.

Nous avons établi une estimation des ressources en eaux souterraines à partir d'analyses des hydrogrammes (données hydrométriques) obtenus à 5 stations de jaugeage controlées mensuellement.

VALEURS DES VOLUMES D'EAU MESURES AUX DIFFERENTES STATIONS
(1969-1978) x 10^6 m^3/an

ANNEES / STATIONS	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	Moyenne
Neveri Bajo Negro	864.34	1009.44	678.12	585.92	691.03	595.71	663.14	553.63	752.67	636.05	767
Neveri La Corcovada	1062.36	1503.17	985.83	1055.95	1015.94	893.22	1066.55	892.16	882.09	893.13	1025
Neveri Botalon	965.17	1433.07	997.54	849.27	908.17	890.42	957.72	773.60	750.65	780.03	930
Manzanares Qda. Seca	183.45	327.79	194.39	169.57	155.24	191.87	233.58	182.80	170.04	150.43	196
Manzanares Guaripa	652.87	688.78	425.10	369.37	399.71	507.49	599.84	465.32	356.80	495.24	496
Cancamure San Juan de Maca.	250.33	305.81	109.59	77.09	83.84	169.44	101.62	74.14	80.57	105.37	136

Tableau N° 13

Les données utilisées ont été recueillies sur une période de 10 ans (1969-1978) à partir des mesures realisées à ces 5 stations de jaugeage et nous avons choisi les courbes les plus caractéristiques .

La décroissance du débit en régime non influencé (sans précipitations) est généralement représentée par la formule de Maillet:

$$Qt = Qo\, e^{-\alpha t}$$

d'ou $$\lg Qt = \lg Qo - (\alpha \lg e)t$$

Qt = le débit à l'instant t en m^3/s
Qo = le débit au debut du tarissement en m^3/s
e = 2.718 la base des logarithmes népériens
t = le temps écoulé depuis le début du tarissement en jours
α = coefficient du tarissement calculé graphiquement avec les débits expérimentaux.

En remplaçant lg e par sa valeur numérique 0.4343 on a:

$$\lg Qt = \lg Qo - (0.4343\, \alpha)t$$

D'après cette relation, on a porté sur un graphique semilogarithmique en ordonées les débits en m^3/s et en abscises les temps en jours et nous avons calculé les coefficients de tarissement α et la capacité d'emmagasinement W au début du tarissement. Celle-ci est calculée à partir de l'integration de la courbe de tarissement qui donne approximativement le volume total d'eau emmagasiné par les matériaux aquifères alimentant la rivière à l'instant to.

$$W = \int_{t_o}^{\infty} Qt\, dt$$

$$W = \int_{t_o}^{\infty} Qo\, e^{-\alpha t}\, dt = \frac{Qo}{\alpha}$$

Comme t exprime en seconds $$W = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400 \ m^3$$

Le sous-bassin versant du Neveri et le bassin versant du Manzanares sont caractérisés par une région aride, constituée de roches calcaires, fracturées où le réservoir d'eau souterraine est hydrauliquement lié aux drains.

L'analyse des hydrogrammes préparés sur diagrammes semilogarithmiques aux 5 stations hydrométriques montre que le sous bassin versant du Neveri comme le bassin versant du Manzanares sont caractérisés par un type de courbes doubles ou discontinues formées par deux segments de lignes droites. (figure n° 21 A, B, C).

Le premier segment est une ligne droite de pente forte indiquant la présence de roches largement fissurées.

Le 2éme segment est une ligne droite de pente faible, indiquant surtout la presence d'une couverture alluviale poreuse et peut etre aussi d'un milieu finement fissuré.

On remarque aussi que toutes les droites sont sensiblement parallèles; les faibles différences de pente s'expliquent si l'on tient compte de la variation des taux d'évaporation suivant les périodes de l'année considerées. Les résultats sont donnés sur le tableau n° 14.

4.2.6- CALCUL DE IA DIFFUSIVITE HYDRAULIQUE (T/S) PAR IA METHODE DE RORABAUGH

L'aquifère, par la faible vitesse d'écoulement des eaux souterraines et sa rétention naturelle, joue le rôle de régulateur du débit de l'écoulement souterrain.

La rétention naturelle, donc la capacité régulatrice des aquifères est fonction de la diffusivité hydraulique (T/S) et des conditions aux limites latérales. C'est cette propriété qui assure le débit pérenne des émergences et par voie de conséquence, des cours d'eau en l'absence de précipitations (décrue et tarissement).

Le coefficient de diffusivité hydraulique (T/S) peut être calculé à partir de l'équation établie par Rorabaugh (1960,1966) dans les cas où l'on étudie la transmissivité à partir de la courbe de tarissement qui correspond approximativement au régime d'équilibre.

RIVIERE NEVERI EN BOTALON

SURFACE 976 Km²

FIGURE Nº 21A

HYDROGRAMME DE LA RIVIERE NEVERI STATION HYDROMETRIQUE BOTALON

Log Q m³/s

10000 9 8 7 6 5 4 3 2 1000 9 8 7 6 5 4 3 2 100 9 8 7 6 5 4 3 2 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0,1

31 SEP 30 OCT 31 NOV 30 DEC 31 JAN 31 FEV 29 MAR 31 ABR 30 MAI 31 JUIN 30

TEMPS (JOURS)

74

RIVIERE MANZANARES EN GUARIPA

SURFACE = 883 Km²

FIGURE Nº 21B

HYDROGRAMME DE LA RIVIERE MANZANARES STATION HYDROMETRIQUE GUARIPA

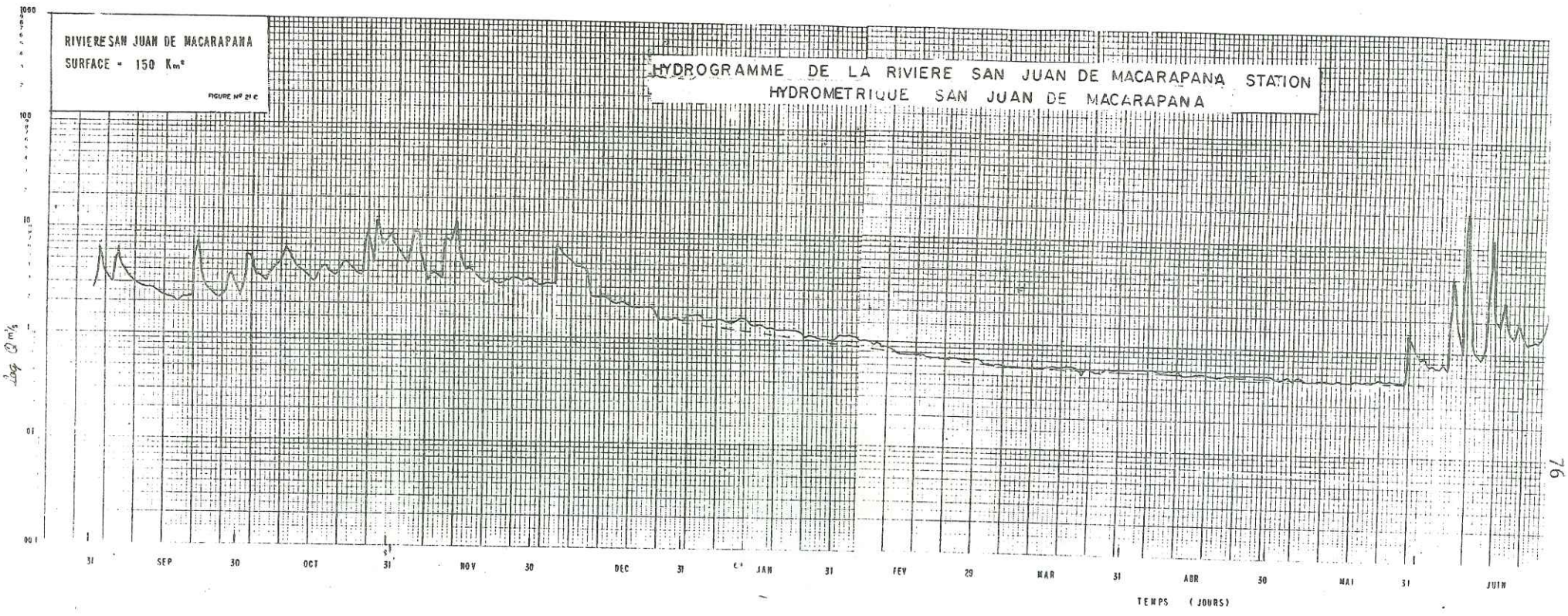
Log Q m³/s

1000 9 8 7 6 5 4 3 2 100 9 8 7 6 5 4 3 2 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0,1 0,01

30 SEP 31 OCT 31 NOV 30 DEC 31 JAN 31 FEV 29 MAI 31 ABR 30 MAI 31 JUIN 3

TEMPS (JOURS)

75



CALCUL DES COEFFICIENTS DE TARISSEMENT ET DES VOLUMES DES RESERVES A PARTIR DES DONNEES HYDROMETRIQUES PAR LA METHODE DE MAILLET (1969-1978)

STATIONS	NEVERI BAJO NEGRO	NEVERI BOTALON	MANZANARES GUARIPA	MANZANARES QDA SECA	CANCAMURE SAN JUAN/MAC
Localité (Etat)	An	AN	Su	Su	Su
Latitude Longitude	10° 10' 15" 64° 21' 00"	10° 05' 15" 64° 33' 55"	10° 21' 00" 64° 10' 00"	10° 09' 00" 63° 57' 27"	10° 20' 10" 64° 11' 51"
Surface (Km^2)	630	976	883	567	150
t (jours) Fissurées Alluvions	 49 83	 53 101	 82 62	 80 60	 53 108
Qo (m^3/s) Fissurées Alluvions	 11 4	 25 8	 11.5 6.5	 4 2	 1.5 0.76
Qt (m^3/s) Fissurées Alluvions	 4 2.2	 8 6	 6.5 4.5	 2 1.7	 0.76 0.5
Fissurées Alluvions	0.0206 0.0072	0.0214 0.0028	0.007 0.006	0.0087 0.0027	0.0128 0.089
W x 10^6 m^3/an - mm Fissurées Alluvions	 46 - 73 48 - 76	 100 - 102 246 - 252	 141 - 159 93 - 105	 40 - 70 64 -112	 10 - 66 7 - 46

TABLEAU N° 14

La pente de la courbe de tarissement est rapportée à la transmissivité de l'aquifère par l'équation suivante:

$$T/S = \frac{0.933\ a^2 \log \frac{Q_1}{Q_2}}{t_2 - t_1}$$

$$a = \frac{A}{2L}$$

d'où:

T = la transmissivité

S = coefficient d'emmagasinement

Q_1, Q_2 = débits en période d'étiage aux instants t_1, t_2

A = surface de drainage

L = longueur des cours d'eau pérenne

a = est obtenu avec une erreur probable de 10%. Par consequent les valeurs de T/S sont approximatives.

Les résultats fournis dans les tableau n°15 appellent un certain nombre de remarques.

Il existe une décroissance des valeurs de T/S de l'amont vers l'aval dans le bassin versant du Manzanares; cet abaissement peut être:

- En relation avec une faille de direction NE-SO
- Ou provenir de conditions géologiques différentes et en particulier de l'état de fissuration des roches.

4.2.7- BILAN HYDROLOGIQUE

On déterminera le bilan hydrique à partir des résultats obtenus par la méthode de Turc. La formule classique du bilan hydrologique est:

$$P = E + (R + I) + \Delta W$$

P = Précipitation moyenne annuelle en mm

E = Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

CALCUL DE LA DIFFUSIVITE HYDRAULIQUE (T/S) PAR LA METHODE DE RORABAUGH

STATIONS	NEVERI BAJO NEGRO	NEVERI BOTALON	MANZANARES GUARIPA	MANZANARES QDA SECA	CANCAMURE SAN JUAN MACARAPA
Surface (Km^2)	630	976	883	567	150
L (Km)	220	294	302	158	665
$a = \frac{A}{2L}$	1.43	1.67	1.46	1.80	1.13
Pente = $\frac{1 \text{ cycle}}{t \text{ (jours)}}$	1/248	1/262	1/214	1/255	1/196
$\frac{T}{S} = \frac{0.0933\ a^2 \log \frac{Q_1}{Q_2}}{t_2 - t_1}$ (m^2/jours)	7524	9829	9330	11854	6046

L'estimation "a" peut comporter une erreur de 10%, les valeurs de T/S sont donc approximatives.

Tableau n°15

R = Ruissellement moyen annuel en mm
I = Infiltration moyenne annuelle en mm
ΔW = Variation eventuelles des reserves

Si on fait une analyse des stations hydrométriques des bassins versants du Neveri et du Manzanares, on voit que 15 à 20% du débit mesuré correspond au drainage souterrain, tandis que la partie restante correspond au ruissellement superficiel.

On pourrait appliquer cette valeur à la zone étudiée car de nombreuses caractéristiques présentes dans ces bassins sont identiques à celles de la région étudiée.

Dans la région de Puerto la Cruz, nous avons ce qui suit:

P = 1346.6 mm
Er = 1048.2 mm
R = 236.0 mm
I = 58.9 mm

P = Er + R + I
100% = 77.8% + 17.5% + 4.7%

4.3- CONCLUSIONS

La contribution au ruissellement total de la région est particuliérment importante sur les parties hautes caractérisées par une pluviométrie abondante et une température relativement basse; par contre, sur les parties basses, le ruisellement est peu important en raison des faibles précipitations et des températures assez élevées.

On remarque cependant que la lame d'eau correspondant au débit de base augmente généralement de l'amont vers l'aval.

Quant à l'infiltration, elle correspond à 5% environ du volume des précipitations.

En ce qui concerne l'évapotranspiration dans la région de

Purto la Cruz-Cumana l'application des formules de Turc et Thornthwaite indique que l'évapotranspiration réélle moyenne annuelle est de l'ordre de 1048 à 1103 mm et on est amené à admettre que la valeur de l'évapotranspiration réelle sur la région est égale à 75 à 95% des précipitations annuelles.

En ce qui concerne enfin la nature des aquifères, les courbes doubles observées traduisent l'hétérogéneité hydrogéologique majeure de la région drainée où l'en rencontre d'une part des milieux fissurés et d'autre part des milieux poreux.

CHAPITRE 5

5- HYDROGEOLOGIE

5.1- CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS

5.2- ROLE DE LA FRACTURATION

5.3- ROLE DE LA FISSURATION

5.4- DETERMINATION DE LA PERMEABILITE "EQUIVALENTE K"

5.5- UTILISATION DE L'ORDINATEUR

5.6- CONCLUSIONS

5- HYDROGEOLOGIE

5.1- CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS

L'étude sur le terrain et les analyses de publications et de rapports inédits sur la géologie du nord est du Vénézuéla ont permis de déterminer la présence de calcaires dans de nombreuses formations géologiques telles que les formations Barranquin, El Cantil, Chimana et Querequal.

La vérification sur le terrain de l'information disponible sur ces formations, a démontré que tous les calcaires ne sont pas aptes au développement d'une topographie karstique.

Au point de vue hydrogéologique, la région présente surtout des unités lithologiques consolidées, perméables à cause de la fissuration, de la fracturation, de la dissolution ou de leurs effets combinés; et grâce à des conditions favorables, on remarque la présence de nappes aquifères de chenaux ou de fissures.

Les caractéristiques hydrogéologiques de la région sont presentées dans la fig n°22 et le tableau n° 16.

Les unités les plus importantes sont les formations El Cantil et Querequal.

- La formation El Cantil

La formation El Cantil est constituée principalement par des calcaires récifaux où l'on observe la topographie karstique typique représentée par des grottes, des cavernes, des avens, résultant de la dissolution des calcaires; cette topographie est favorable à la capture des eaux souterraines qui parviennent à la surface sous forme de sources.

Les analyses chimiques réalisées sur plusieurs échantillons de roches ont atteint un pourcentage de 97% de carbonate de calcium ($CaCO_3$), favorable au développement des formes karstiques.

CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION PUERTO LA CRUZ CUMANA

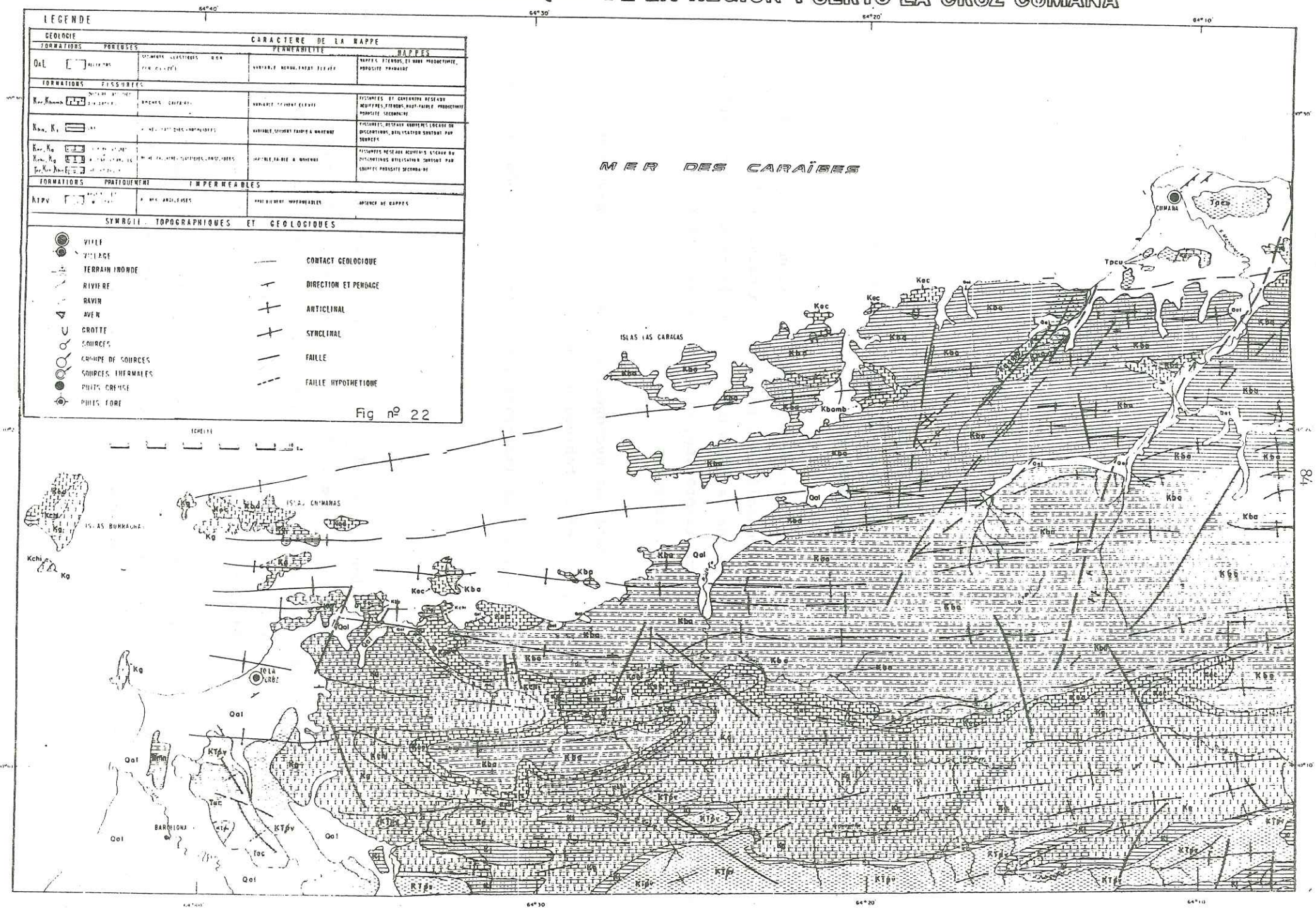


tableau n°16

CARACTERITIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES UNITES GEOLOGIQUES PRINCIPALES (PUERTO LA CRUZ - CUMANA).

FORMATIONS	AGE	EPAISSEUR (m)	SITUATION	LITHOLOGIE	PERMEABILITE	TYPE ET RENDEMENTS DES AQUIFERES	QUALITE CHIMIQUE L'EAU	OBSERVATIONS
ALLUVION (Qal)	Récent	Variable	Plaines cotieres de Puerto la Cruz et alluvions des rivières Santa Fe Barbacoa Cumana.	Sédiments clastiques à granulométris variable rochers, limon, argile faible degré de consolidation.	Variable granulométrie importante	Granulaire 5 - 30 l/sec.	Eaux douces généralment potables, favorables a l'irrigation; surtout corrosives. Total Sel. dissouts 32 - 866 ppm. S.A.R 0,03 à 0,88 type pred. HCO_3 - Ca	Nappes étendues et exploitables . Porosité
FORMATION CARATAS (Tec)	Eocène	600	Occupe une surface approximative de 10 Km. Les roches affleurent a l'ouest de la zone aux alentours de Barcelona.	Silts et grès qui peuvent être dolomitiques ou calcaires.	Faible par fissuration: $0,61 \times 10^{-6}$ a $0,19 \times 10^{-8}$ m/s	Fracturé	Modérément forte en SO_4 dueau contenu en gypse	Généralement sans nappes exploitables
FORMATION VIDOÑO (KTpv)	Campanien Eocène Inférieur	335	Occupe une surface de 7,6 Km. au nord de la colline Angostura et au nord d' El Rincon.	Argilites intercalées de fines strates de silts et de grès.	Imperméable fissuration: $0,46 \times 10^{-7}$ a $0,29 \times 10^{-8}$ m/s	Practiquement aquiclude étanche a l'eau	Sans renseignements	Absence de nappes
GROUPE GUAYUTA 1) Form. Querequal (Kq)	Cénomanien	900	Occupe une surface de 280,6 Km. sur les zones méridionales ainsi que sur des petites zones disséminées	Strates de calcaire de couleur noire fines et d'argilites ainsi que de grès durs (Chert) caractéristiques de la Form. San Antonio.	Variable de très faible a moyenne. Fissuration: Ksa: $0,38 \times 10^{-4}$ Kq : $0,16 \times 10^{-2}$ a $0,52 \times 10^{-5}$	Fracturé on attend une production de 10 à 15 l/sec.	Eaux douces, en partie odeur H_2S potables favorables a l'irrigation. Sel. dis. 54 à 738 ppm. SAR 0,01 - 1,2. Type HCO_3 - Ca	Au sud de la chaine de l'intérieur, on a foré plusieurs puits et on a obtenu une production de 15 l/s. Une grande quantité d'eau passe à travers les fissures.
2) Form. San Antonio (Ksa)	Maestrichen	1000						
FORMATION CHIMANA (Kchi)	Aptien Cénomanien	600	Occupe une surface de 46,3 Km. a l'ouest de la région Elle se présente en strates allongées comme pour La Formation El Cantil.	Argilites, grès et calcaires en couches irrégulieres, tous de type variable.	Très faible à nulle Fissuration: $0,16 \times 10^{-5}$ à $0,89 \times 10^{-6}$ m/s	Fracturé en partie mais imperméable	Eaux douces surtout corrosives, potables, favorables pour l'irrigation. Sel. dis. 106 - 566 ppm. SAR 0,03 - 2,6. Type HCO_3 Ca.	Peu important comme aquifère dans la zone.
FORMATION EL CANTIL (Kec)	Aptien Cénomanien	400	Occupe une surface de 63,6 Km. Elle se présente en strates allongées.	Calcaires massifs d'aspect récifal séparés par des argilites et des grès.	Variable souvent forte chenaux 0,09m/s Fissures: $0,16 \times 10^{-1}$ à $0,18 \times 10^{-4}$ m/s	Fracturé et caverneux 10 l/s - 15 l/s	Eaux douces surtout corrosives, potables, favorables a l'irrigation. Sel. dis. 34 - 342 ppm. SAR 0,04 - 3,6. Type HCO_3 - Ca	L'eau dans l'aquifère est soumise a une pression artésienne. On attend une plus grande production. Une grande quant. passe a travers les fissures et les canaux.
FORMATION BARRANQUIN (Kba)	Barrénien Aptien	D'environ 1600m	Occupe la plus grande partie du nord de la zone ainsi que des petites zones disséminées 681,4 Km.	Grès variablement quartzeux, micacés ou avec du kaolin intercalés d'argilites et de strates de calcaires récifaux sableux.	Variable de très faible a moyenne. Fissures: $0,10 \times 10^{-4}$ a $0,20 \times 10^{-7}$ m/s.	Fracturé (granulaires dans une zone d'altération)	Eaux douces, surtout corrosives, potables, propices a l'irrigation. Sel. dis. 29 - 806 ppm. SAR 0,02 - 2,8. Type pred. HCO_3 - Ca.	Peu important comme aquifère dans la zone.

Ces calcaires sont présents dans la région étudiée et occupent une surface de 64 Km^2.

La porosité des calcaires mesurée par la méthode microscopique pour la formation El Cantil varie de 1 à 10% et celle du Groupe Guayuta de 1 à 8%.

Les calcaires de la formation El Cantil sont interstratifiées avec des horizons imperméables d'argiles et présentent ainsi des structures caverneuses de type mérokarst qui pourraient être des aquifères à forts rendements. Ce type de structure pourrait se comparer avec les mérokarsts (J. Cvijic) de l'Europe Centrale, Moravie et de l'Europe Occidentale.

Les calcaires de la formation El Cantil constituent la zone karstique la plus importante, non seulement pour la région étudiée mais aussi pour tout l'est du pays; comme exemple, nous pouvons citer la fameuse grotte d'El Guacharo dans l'état de Monagas.

- La formation Querequal

Cette formation affleure largement dans la région, où elle est répresentée par des calcaires impurs. Ces roches ne sont donc pas favorables à la karstification. Les analyses chimiques de ces échantillons atteignent 85.6% de $CaCO_3$.

Cependant à cause de leur grande fracturation, on a pu observer que ces calcaires pouvaient contenir des nappes aquifères de perméabilité moyenne ainsi que des avens, cavernes, dolines (ayant pour origine l'écroulement de la voûte de cavernes), comme par exemple dans la zone d'El Retumbo.

Le groupe Guayuta, à cause de son contenu en matière organique (0 à 40%) et en sulfures, ne possède pas une karstification importante et l'eau qui s'infiltre à travers les diaclases et les fissures n'arrive pas à provoquer une dissolution, à quelques exceptions près comme par exemple dans la grotte d'El Retumbo, formée dans les calcaires de la formation Querequal.

Nous donnons ci-après un tableau de la composition de cinq échantillons de roches (tableau n° 17), qui ont été analysées au laboratoire du M.E.M.

- La formation Barranquin

Pendant l'étude sur le terrain, la présence de plusieurs sources a permis de déduire que les grès de la formation Barranquin pouvaient présenter des nappes aquifères à perméabilté secondaire.

Quelques sources surgissent en effet le long de failles (faille de Conoma et de Santa Fe), recoupant ces grès qui occupent une superficie de 681 Km^2.

- Le Tertiaire

La lithologie du Tertiaire avec ses épaisseurs très faibles et discontinues, apparait peu propice à la formation de nappes aquifères.

5.2- ROLE DE LA FRACTURATION

Les grandes fractures facilitent la pénétration des eaux en profondeur, principalement là où les failles ont une direction NE-SO comme la faille de Conoma (résultats obtenus grâce aux essais de traçages avec la fluorésceine) et la faille de Cumana (calcul de la diffusivité hydraulique); mais en général la fracturation joue vis à vis de l'infiltration un rôle moins important que la fissuration qui lui est d'ailleurs liée.

5.3- ROLE DE LA FISSURATION

L'importance hydrogéologique des fissures est due surtout au développement des diaclases.

A une échelle très réduite, la fissuration crée des plans propices aux circulations souterraines donnant naissance à une organisation hierarchisée du réseau de drainage, selon l'importance de l'ouverture et la longueur des diaclases; un autre paramètre important est représenté par la densité des fissures.

Analyses quantitatives réaliseés sur plusieurs échantillons de roches (en %) **Tableau n°17**

Constituant	Echantillon 1 Calcaire (Kec)	Echantillon 2 Calcaire (Kec)	Echantillon 3 Grès (Kba)	Echantillon 4 Calcaire (Kq)	Echantillon 5 Calcaire (Kq)
Insoluble dans HCl	5.39	3.80	10.86	8.79	9.62
Al_2O_3	1.19	1.22	0.85	1.07	1.44
Fe_2O_3	0.80	0.25	0.25	0.20	0.40
CaO	52.00	52.69	46.61	48.71	47.98
MgO	0.15	0.41	0.47	0.55	0.43
Na_2O	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
K_2O	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Pertes par calcination	40.87	41.50	40.71	40.46	39.58
Totaux	100.40	99.87	99.75	99.78	99.45
$CaCO_3$	92.80	94.03	83.18	86.93	85.63

La majorité des diaclases a une direction NE-SO et la direction des écoulements souterrains observés dans la région est identique c'est à dire que la famille de diaclases orientées dans cette direction contrôle l'écoulement des eaux. Les plans de stratification ont un rôle peu important.

5,4- DETERMINATION DE LA PERMEABILITE "EQUIVALENTE" K

Pour déterminer la perméabilité "equivalente" K, on a appliqué la méthode de Kiraly; ce dernier a étudié en 1969 l'anisotropie et l'hétérogéneité de la perméabilité K dans les calcaires fissurés.

Cette méthode est basée sur l'étude de la fissuration des roches, il suffit de connaître les paramètres principaux des groupes de fissures, comme l'orientation n, la fréquence f, et l'ouverture d. Si l'on se repère à la direction et au pendage de la couche, on peut calculer le tenseur de la perméabilité équivalente K, pour la formule suivante:

$$\bar{\bar{K}} = \sum_i \bar{\bar{K}}_i$$

$$\bar{\bar{K}} = \frac{g}{12\gamma} fi\ di^3\ \bar{\bar{A}}i$$

g = accélération de la pesanteur 9.81 m/s

γ = viscosité cinématique de l'eau $1x10^{-6}$ m/s

fi = fréquence du $i^{ème}$ groupe

$\bar{\bar{K}}_i$ = tenseur de perméabilité du $i^{ème}$ groupe

$\bar{\bar{A}}i$ = (I - ni x ni)

I = matrice identique = 1

di = ouverture moyenne des fissures du $i^{ème}$ groupe

ni x ni = produit tensoriel de la normale au plan de fissure du $i^{ème}$ groupe par elle même

Si (x_1, x_2, x_3) sont les composants du vecteur normale n, on aura:

$$\vec{n} \times \vec{n} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix}^{(x_1, x_2, x_3)} = \begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 x_2 & x_1 x_3 \\ x_2 x_1 & x_2^2 & x_2 x_3 \\ x_3 x_1 & x_3 x_2 & x_3^2 \end{vmatrix}$$

$$\bar{\bar{A}} = (I - \vec{n} \times \vec{n}) = \begin{vmatrix} 1- x_1^2 & -x_1 x_2 & -x_1 x_3 \\ -x_2 x_1 & 1- x_2^2 & -x_2 x_3 \\ -x_3 x_1 & -x_3 x_2 & 1- x_3^2 \end{vmatrix}$$

Les fi et ni sont estimées d'après les mesures de terrain. Les ouvertures di sont mesurées puis estimées par hypothèse, car il faut signaler que l'ouverture des diaclases est dificilement mesurable .

Pour faciliter les calculs, nous avons pris comme axe X_o la direction du pendage, comme axe de Y_o la direction des couches et comme axe de Z_o la normale aux strates.

Les fissures sont considerées comme perpendiculaires à la stratification.

On signalera postérieurement, plusieurs exemples correspondant aux massifs calcaires des formations E l Cantil, Chimana et Querequal ainsi que leur représentation graphique (fig n° 23 et annexe n° 1).

5.5- UTILISATION DE L'ORDINATEUR

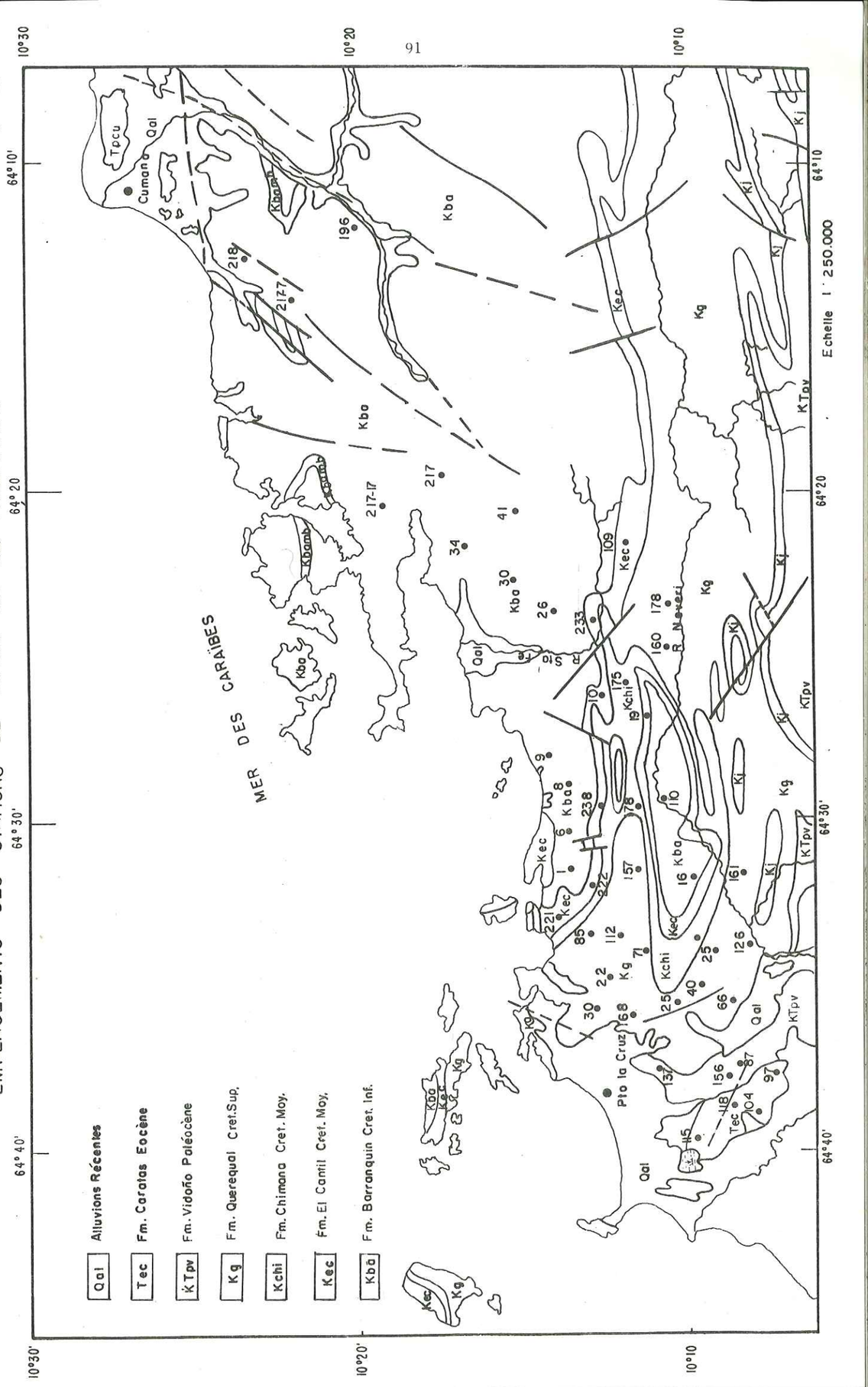
L'objectif de l'utilisation de l'ordinateur est de déterminer par calcul matriciel la perméabilité équivalente K.

Nous avons utilisé pour notre étude un programme qui est basé sur la formule de Kiraly d'expression mathématique suivante:

$$K_i = fi\ di^3\ \bar{\bar{A}}i\ Cte$$

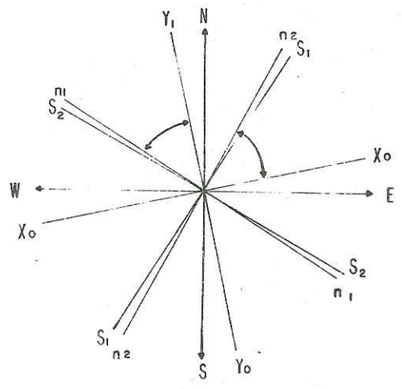
Fig n° 23

EMPLACEMENTS DES STATIONS DE LEVER DE LA FISSURATION

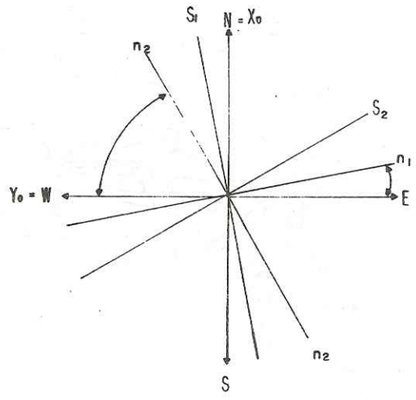


REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES ORIENTATIONS DE SUBSYSTEMES DE FISSURES PAR LA METHODE DE KIRALY

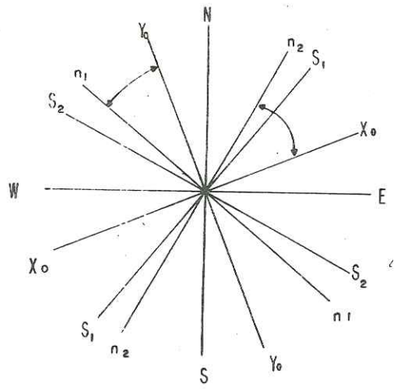
POINT N° 134



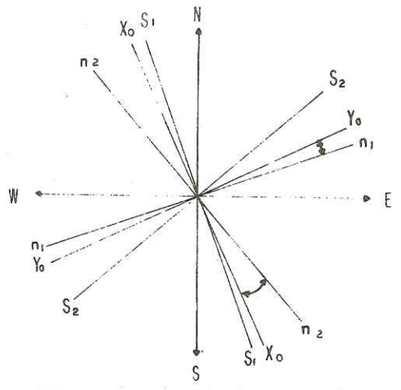
POINT N° 87



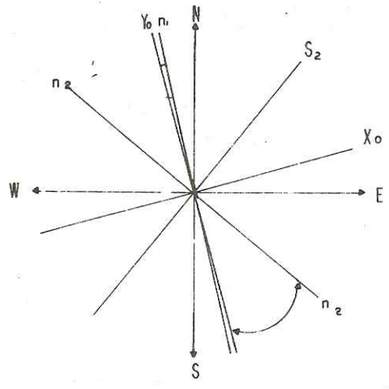
POINT N° 104



POINT N° 175 Kchi



POINT N° 156 KTpv



POINT N° 115 Tec

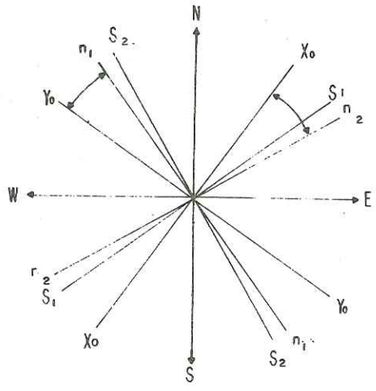
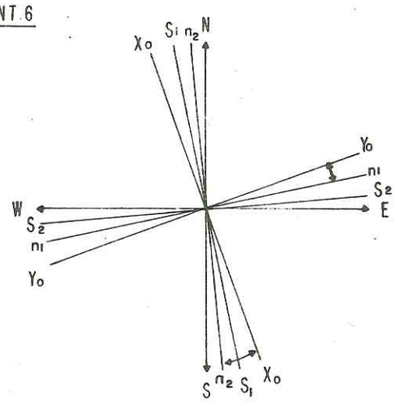


FIG N°24 A

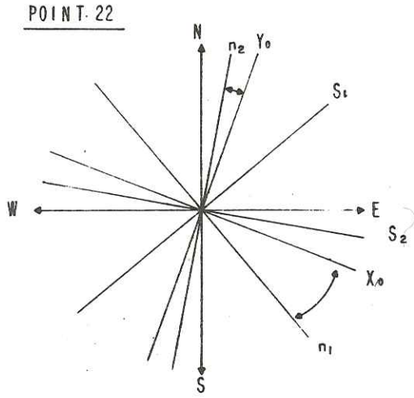
92

REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES ORIENTATIONS DE SUBSYSTEMES DE FISSURES PAR LA METHODE DE KIRALY

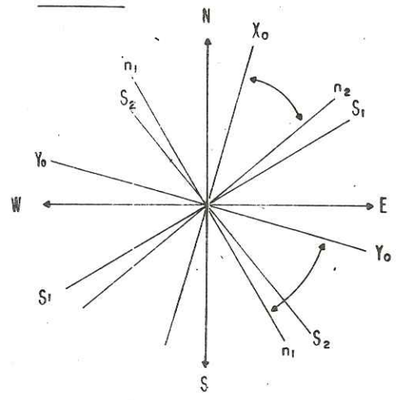
POINT 6



POINT 22

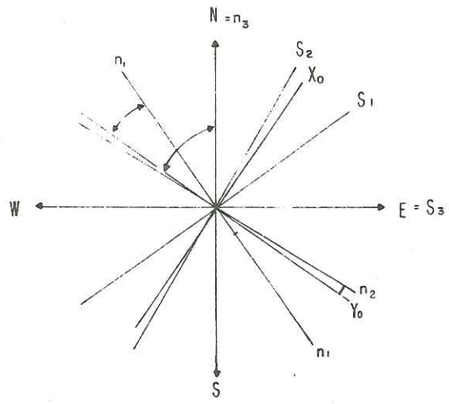


POINT 25

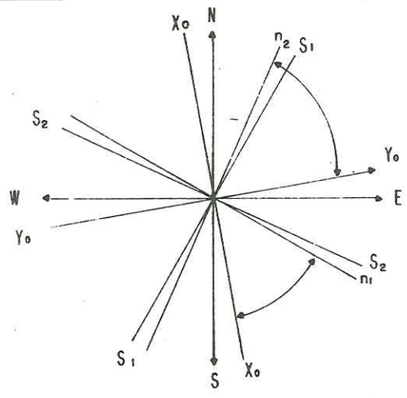


Kg

POINT 71



POINT 112



POINT 161

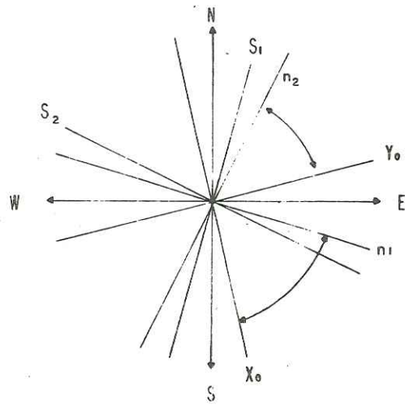
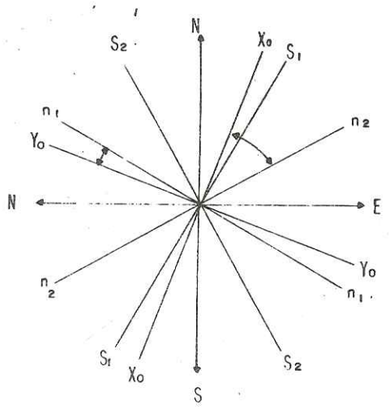


FIG. N°24 B

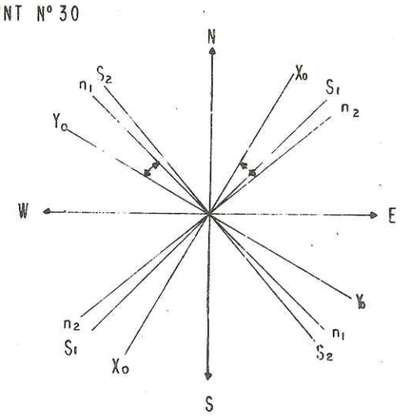
93

REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES ORIENTATIONS DE SUBSYSTEMES DE FISSURES PAR LA METHODE DE KIRALY

POINT N° 1

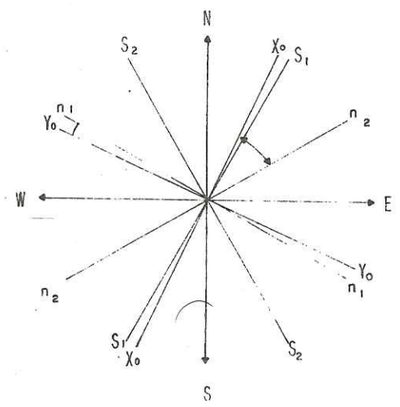


POINT N° 30



Kba

POINT N° 6-A



POINT N° 110

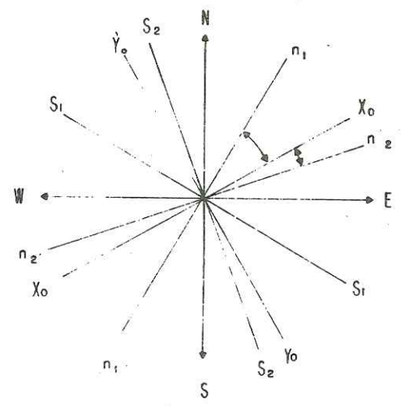
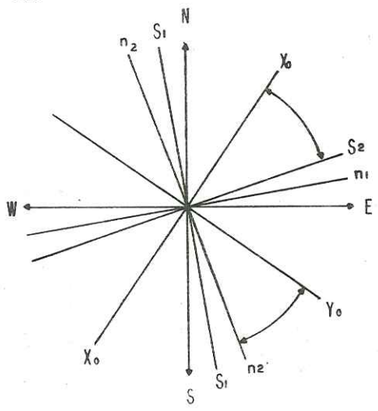


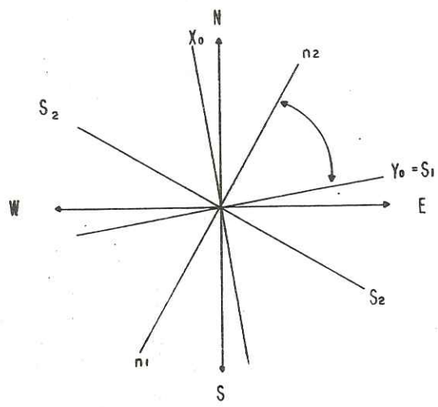
FIG. N° 24C

REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES ORIENTATIONS DE SUBSYSTEMES DE FISSURES PAR LA METHODE DE KIRALY

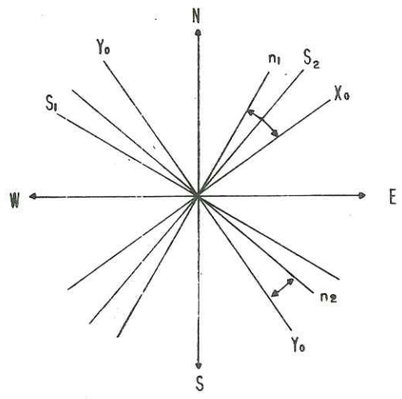
POINT 238



POINT 19

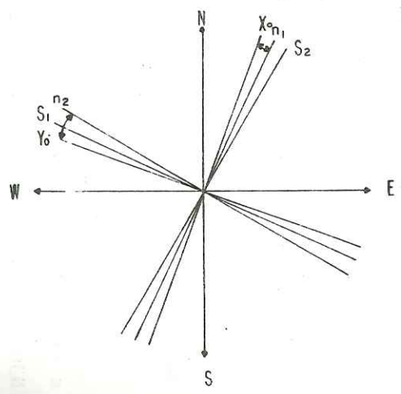


POINT 233

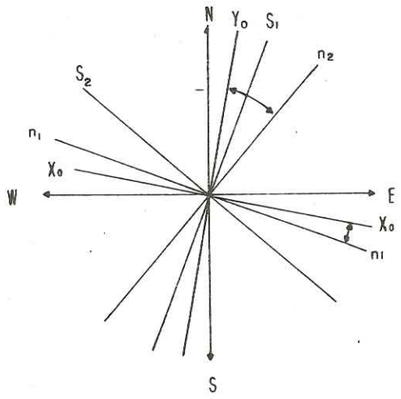


Kec

POINT 109



POINT 221



POINT 222

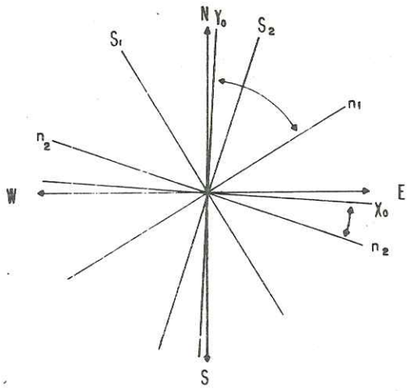


FIG N°24D

Cte = 0.8094059

Les levers des fissures d'ordre decimétrique à métrique ont été effectués à 45 stations situées dans différents massifs fissurés de la région de Puerto la Cruz - Cumana. (figure n° 24).

Ce programme effectue l'analyse sous forme d'une matrice A représentées par des vecteurs orthogonaux. (Figure n° 25)

$$A = \begin{vmatrix} x_1 & x_3 & 0 \\ x_3 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$x_1 = 1 - \text{Cos}^2 \alpha$$
$$x_2 = 1 - \text{Sin}^2 \alpha$$
$$x_3 = \text{Cos} \times \text{Sin} \alpha$$

où α = angle compris entre la normale à la direction de la strate et la normale à la direction des fissures.

La sortie des résultats du programme Fortran se fait par tableaux et sous forme de cartes pérforées.

L'annexe n° 1 présente les données suivantes:

Numero de l'échantillon, identification des faciés.

Direction et pendage de la strate, direction des fissures, fréquences, ouvertures.

Les facteurs extraits sont: n vecteur normal, A matrice, K perméabilité.

En général, nous pouvons dire que dans la zone étudiée on a observé deux systèmes conjugués de diaclases de direction approximative N30°O et N35°E avec une forte inclinaison de 50° à 90° et avec des fréquences variant de 2 à 20 par mètres; ces systèmes sont produits par un

DIAGRAMME SCHEMATIQUE DE CALCUL DES MATRICES DE PERMEABILITE EQUIVALENTE " K "

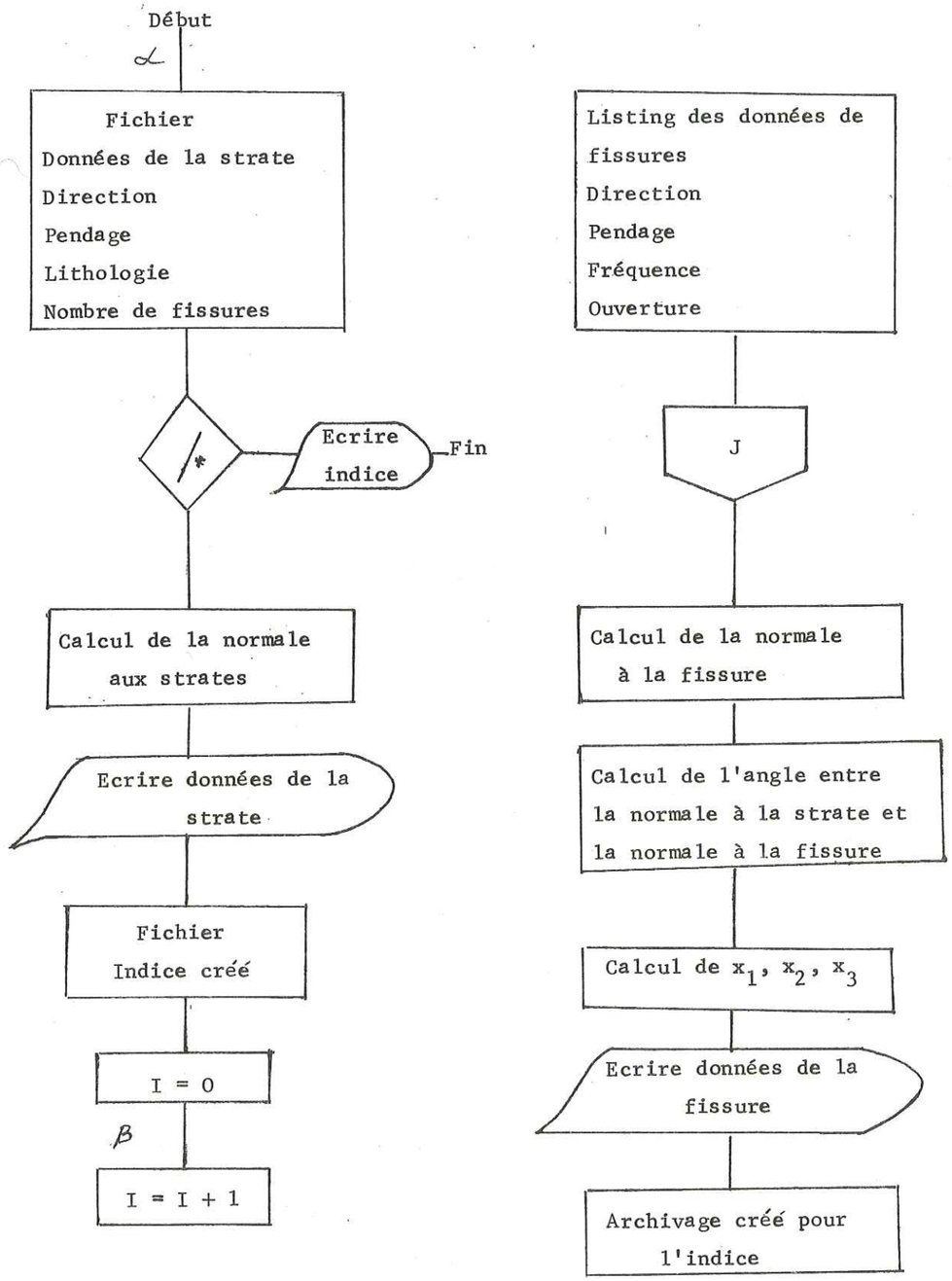


Figure n° 25

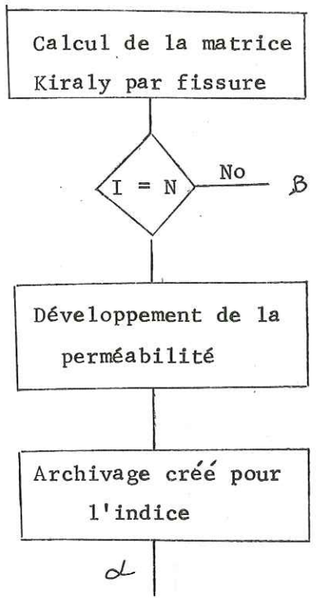


Figure n° 25

seul type de poussée, qui peut être considéré comme contemporain.

5.6- CONCLUSIONS

En conclusion, nous pouvons dire que la perméabilité équivalente K de l'ensemble des roches fissurées de la région de Puerto la Cruz Cumana peut être considérée comme comprise entre 0.2×10^{-8} et 0.12×10^{-1} m/s, cette dernière valeur correspond aux zones les plus fracturées et fissurées. Il est certain que les résultats obtenus par la méthode d'étude de la fissuration tiennent compte des conditions géométriques locales, mais ne tiennent pas compte de l'état de rugosité des contacts des fissures, de l'interstratification et des phénomenes de tension superficielle liées à la nature même des minéraux qui constituant les sédiments.

Parmi les formations présentant le plus grand nombre de diaclases, on peut citer les formations Barranquin, Chimana, El Cantil, Caratas, Vidoño; ces dernières en plus faible proportion.

050 030695 9

CHAPITRE 6

6- MISE EN EVIDENCE DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS PAR TRAÇAGES

6.1- GENERALITES

6.2- ESSAIS EXPERIMENTAUX

6.3- TRAÇAGES REALISES ANTERIEUREMENT A CETTE ETUDE

6.4- LOCALISATION DES POINTS D'INJECTION

6.5- LES PRELEVEMENTS

6.6- DISCUSSION

6.7- CONDITIONS GEOLOGIQUES QUI DETERMINENT LES PERTES

6.8- CONCLUSIONS

6- MISE EN EVIDENCE DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS PAR TRAÇAGES

6.1- GENERALITES

L'utilisation de traceurs est un des moyens les plus anciens pour la recherche dans les aquifères karstiques mis en oeuvre pour mettre en évidence les relations entre les pertes et les résurgences; la méthode permet également d'apporter des informations sur la structure et le fonctionnement hydrodynamique de ce type d'aquifère.

Le principe de l'étude d'un traceur repose sur la notion de système; entre le point d'injection et le point de réapparition; l'ensemble de l'aquifère soumis à l'action de ce traceur constitue un système que nous appelerons système traceur. La fonction d'entrée est déterminée par l'usage du traceur en injection; la fonction de sortie est obtenue par les résurgences.

Pour calculer la vitesse, plusieurs procédés sont valables ; le plus courant dans le relief karstique consiste à injecter le traceur soit à un endroit où s'infiltrent les eaux superficielles (pertes), soit dans un gouffre; on peut observer aussi la réapparition du traceur dans les sources. On peut également mesurer la vitesse entre les puits par l'écoulement naturel , ou par pompage; la vitesse peut être mesurée aussi avec un seul puits, en observant la diminution de la concentration du traceur emporté par le courant souterrain. Toutes ces expériences de coloration sont punctuelles dans le temps et dans l'espace.

6.2- ESSAIS EXPERIMENTAUX

Les points d'injection ont été répartis dans la région pour mieux connaître la circulation des eaux. On utilise comme traceur la fluorescéine qui est détectée grâce au charbon actif. De telles injections ont été faites entre février et mars 1981.

6.3- TRAÇAGES REALISES ANTERIEUREMENT A CETTE ETUDE

6.3.1- Traçage du 26 septembre 1979

Cette expérience eut lieu pendant la saison des pluies;50 g. de fluorescéine furent versés à Puerto la Cruz dans le ruisseau la Sirena situé environ à 200 m. au dessus de la mer et ayant un débit de 50 1/s. Aucune trace de colorant ne fut détectée dans la région Pertigalete, vers la quelle en pouvait penser que les eaux du ruisseau se dirigeaient après leur infiltration.

6.4- LOCALISATIONS DES POINTS D'INJECTIONS

Trois injections ont été effectués à différents niveaux du Crétacé.

6.4.1- Formation El Cantil

6.4.1.1- Essai n° 1: gouffre de los Altos

Cette injection a été effectuée le 18 février 1981 à los Altos. La fluorescéine a été injectée à partir du gouffre, avec un débit de 10 1/s. 50 g. ont été employés.

6.4.1.2- Essai n° 2: pertes d'eau

L'injection a été effectuée le 19 février dans le ruisseau Pertigalete, dont l'eau s'infiltre dans les calcaires.

La fluorescéine a été utilisée comme traceur dans cette perte dont le débit est de 10 1/s. 80 g. ont été employés.

6.4.2- Formation Querequal

6.4.2.1- Essai n° 3: Aven d'El Retumbo à 6 mètres de profondeur

La fluorescéine a été injectée à partir de cet aven. La quantité de colorant a été de 70 g. avec un débit de 10 1/s.

6.5- LES PRELEVEMENTS

Les opérations d'échantillonages ont été effectuées en 5

points correspondant tous à des sources. Pour un tel échantillonage, on a utilisé le charbon actif. On a extrait le traceur par l'alcool en présence de potasse sodique.

6.5.1- Formation El Cantil

6.5.1.1- Résultat de l'essai n° 1: Bas fond de Cogollar

C'est une source située à 2 Km à peu près au sud de los Altos (point d'injection); 24 heures après l'injection, la fluorescéine a été detectée, dans un débit de 7 1/s; et avec un pourcentage de restitution estimé approximativement à environ 50%.

6.5.1.2- Résultat de l'essai n° 2: Source de Conoma

Il s'agit d'une source située dans la baie de Conoma; aucune trace de colorant n'a été detectée. La date de la prise d'échantillon a été 5 jours après l'injection.

6.5.2- Formation Querequal

6.5.2.1- Résultat de l'essai n° 3: Source d'El Retumbo

C'est une source qui donne naissance au ruisseau la Sirena cette source se trouve à 1 Km de distance du point d'injection; 3 jours après, on a réalisé l'échantillonage et on a enregistré un débit de 8 1/s et un pourcentage de restitution estimé à 25% environ.

La figure n°26 montre ces points et le tableau n° 18 les résultats.

6.6- DISCUSSION

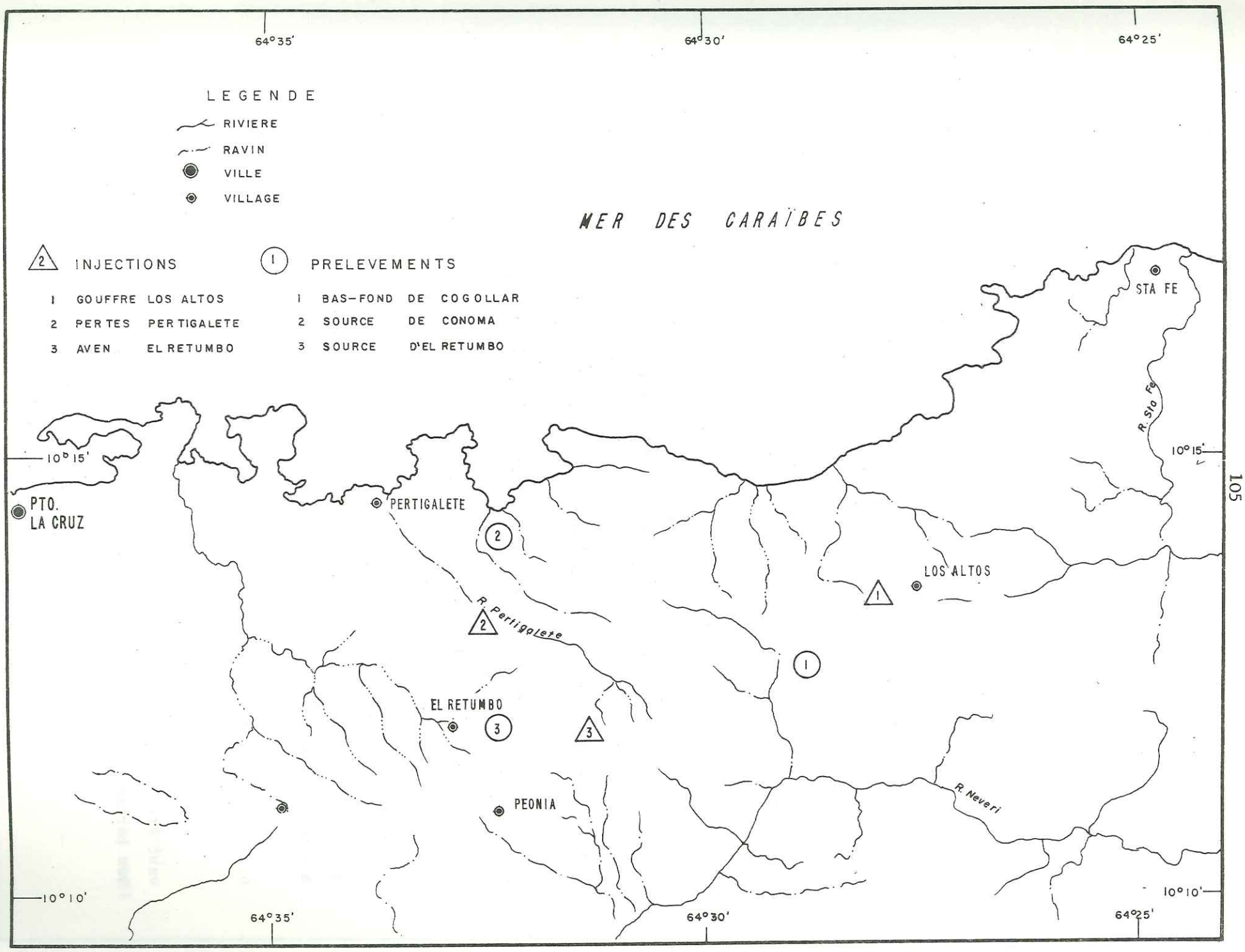
On sait que la karstification tend à élargir les fissures et les vides. On peut distinguer plusieurs types de porosité et par conséquence deux types de perméabilité:

- Une perméabilité de fissures

RESULTATS DES TRAÇAGES

INJECTION				REAPPARITION							
Date Heure	Lieu	Nat. du Trac Quant.	Débit 1/s	Date Heure	Lieu	Débit 1/s	Dist. Approx. Km	Deniv. en m	Vit. apparent m/h	Grad. Hydr.	Observations
18-2-81	Gouffre Los Altos	Fluores-céine 50g	10	19-2-81 24h	Source Cogollar	7	1.6	125	66.6	0.078	Intensité forte 30% étiage
19-2-81	Pertes Pertiga-lete	Fluores-céine 70g	10	23-2-81 96h	Source Conoma	7	2.0	222	---	0.111	négatif étiage
19-2-81	Avens Retumbo	Fluores-céine 70g	10	22-2-81	Source Retumbo	10	1.0	54	16.1	0.054	légerement coloré 25% étiage

Tableau n° 18



ECHELLE. 1:100.000

SITUATION DES POINTS D'INJECTIONS ET DE PRELEVEMENTS

FIG. N° 26

- Une perméabilité de chenaux.

Sur la surface étudiée, on distingue des zones de fissures fines où le ruissellement est lent et des zones de chenaux où la circulation d'eau est rapide.

A partir de l'équation de Darcy et du bilan de matière, on peut calculer la perméabilité K des formations comprises entre le point d'injection et le point de captage en utilisant les temps de transit (t) obtenus expérimentalement avec les traceurs à la fluorescéine.

La vitesse réelle est de 67 m/h et compte tenu du gradient la perméabilité est de 0.24 m/s. Il s'agit là de la perméabilité du système de chenaux.

Au contraire dans le système des fissures fines dans les calcaires, la perméabilité est à peu près de 0.12×10^{-1} à 0.5×10^{-5} m/s (selon les résultats obtenus par la méthode de Kiraly).

6.7- CONDITIONS GEOLOGIQUES QUI DETERMINENT LES PERTES

Dans les zones calcaires, c'est à dire la majeure partie des calcaires des formations El Cantil et Querequal, l'infiltration est immédiate. Elle peut être différée dans les argiles de la formation Chimana où s'effectuent de brefs ruissellements de même que dans le Tertiaire.

Une grande parti des cours d'eau présente des pertes de débit dont la résurgence pourrait se faire sous le niveau de la mer, sur la côte à l'est de Puerto la Cruz (figure n° 27).

6.8- CONCLUSIONS

Localement, les nappes aquifères de la formation El Cantil peuvent être alimentées par des zones à perméabilité de fissures situées dans les parties hautes des massifs et être en charge sous des niveaux argileux.

En fonction des résultats obtenus par les essais de traçage

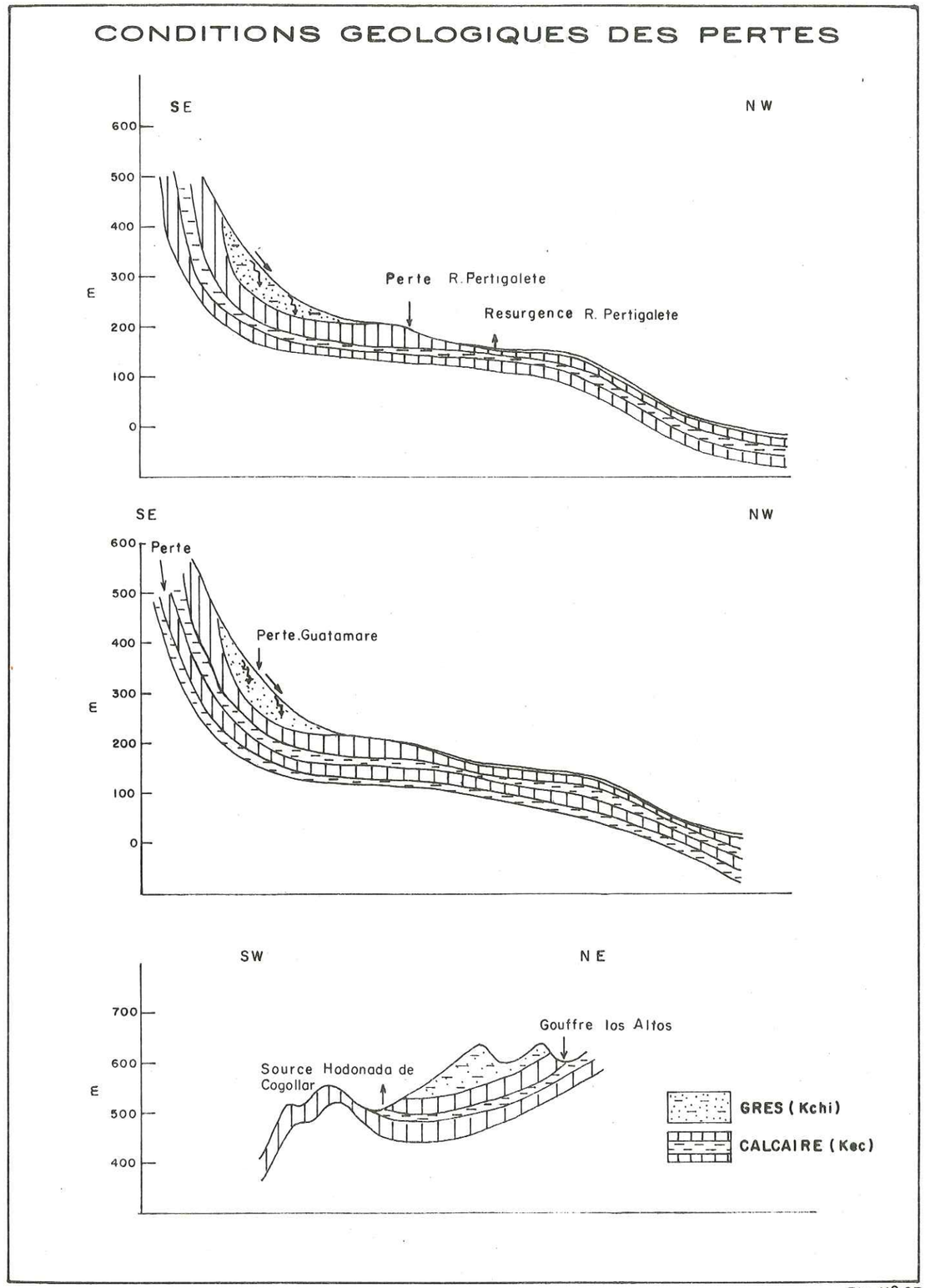


Fig. Nº 27

à la fluorescéine, nous pouvons dire que la direction moyenne d'écoulement des eaux est généralement NE-SO et E-O; cependant, localement le flux peut avoir d'autres directions.

Le facteur hydrogéologique le plus important en ce qui concerne l'hydrogéologie karstique est la fissuration des calcaires.

CHAPITRE 7

7- LES SONDAGES DE RECONNAISSANCE DANS LES CALCAIRES MESURES ET ESTIMATIONS

7.1- LES SONDAGES D'EXPLORATION DANS LES CALCAIRES DE LA FORMATION EL CANTIL

7.2- MESURES GEOPHYSIQUES. IDENTIFICATION DES UNITES STRATIGRAPHIQUES

7.3- MESURES ET ESTIMATIONS

7.4- CONCLUSIONS

7- LES SONDAGES DE RECONNAISSAANCE DANS LES CALCAIRES MESURES ET ESTIMATIONS

7.1- LES SONDAGES D'EXPLORATION DANS LES CALCAIRES ENTRE PUERTO LA CRUZ CUMANA.

L'inventaire des puits répertoriés et des renseigments les concernant est une phase importante dans la recherche des eaux souterraines. La fig n° 30 montre la localisation et la distribution de quelques puits.

Dans la zone étudiée, on a répertorié 5 sondages (zone de Pertigalete) forés par la compagnie Vencemos et 1 sondage à Hondonada de Cogollar. Ces sondages constituent une première expérience dans les calcaires du Crétacé inférieur. La majorité des puits a un diamètre de $8^{5/8}$ pouces et une profondeur de 60 m; ils traversent apparement des sédiments quaternaires (profil 4, 5, et 6) pour atteindre les calcaires karstifiés de la formation El Cantil. Ces puits ont une production de 70 l/s.

Il n'a pas été possible d'obtenir les données des essais de pompage tandis que nous n'avons pas pu déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité et le coefficient d'emmagasinement) à partir des méthodes conventionnelles.

Les forages à Pertigalete servent généralement à l'alimentation industrielle.

7.2- MESURES GEOPHYSIQUES. IDENTIFICATION DES UNITES STRATIGRAPHIQUES

Dans la zone de Pertigalete les carrotages électriques (S.P- résistivité et rayons gamma) révèlent l'existence d'un horizon alluvial constitué par des argiles, des sables, des graviers, des conglomérats à granulométrie variable atteignant une épaisseur comprise entre 0 et 12 m; de 12 à 60 m alternent les calcaires et les argiles correspondant à la formation El Cantil.

On a pu différencier quatre horizons de calcaires à partir

de 15, 25, 38, et 50 mètres atteignant des épaisseurs variables (fig. n° 28 A, B, C).

Plusieurs couches d'argile permettent de différencier dans la formation El Cantil deux nappes:

- Une nappe supérieure à une profondeur de 12 à 40 m

- Une nappe inférieure située à une profondeur de 50 mètres

Le dernier horizon est considéré comme la nappe aquifère principale en raison de sa grande épaisseur. Cependant la majorité des puits n'a pas traversé cet horizon à cause de la proximité de la mer, pouvant contaminer l'aquifère par apport d'eau salée.

Sur la plus grande partie de cette zone, l'aquifère est séparé par des couches relativement imperméables qui retardent le mouvement vertical de l'eau souterraine, soumise à la pression artésienne. La nappe aquifère s'écoule alors continuellement vers la mer. Le niveau statique de ces puits oscile entre 12 et 15 mètres au dessous de la mer.

Un sondage realisé à Cogollar situé à 11 Km au sud-est de Pertigalete, montre que la nappe aquifère est probablement continue.

A Coggollar, on observe la coupe suivante:

- Horizon calcaire karstifié à 12 mètres
- Horizon calcaire karstifié à 20 mètres
- Horizon calcaire karstifié à 30 mètres
- Horizon calcaire karstifié 40 mètres

La circulation de l'eau souterraine présente un flux dirigé vers la mer, élargissant les plans de stratification, des fissures, et des fractures par dissolution.

7.3- MESURES ET ESTIMATIONS

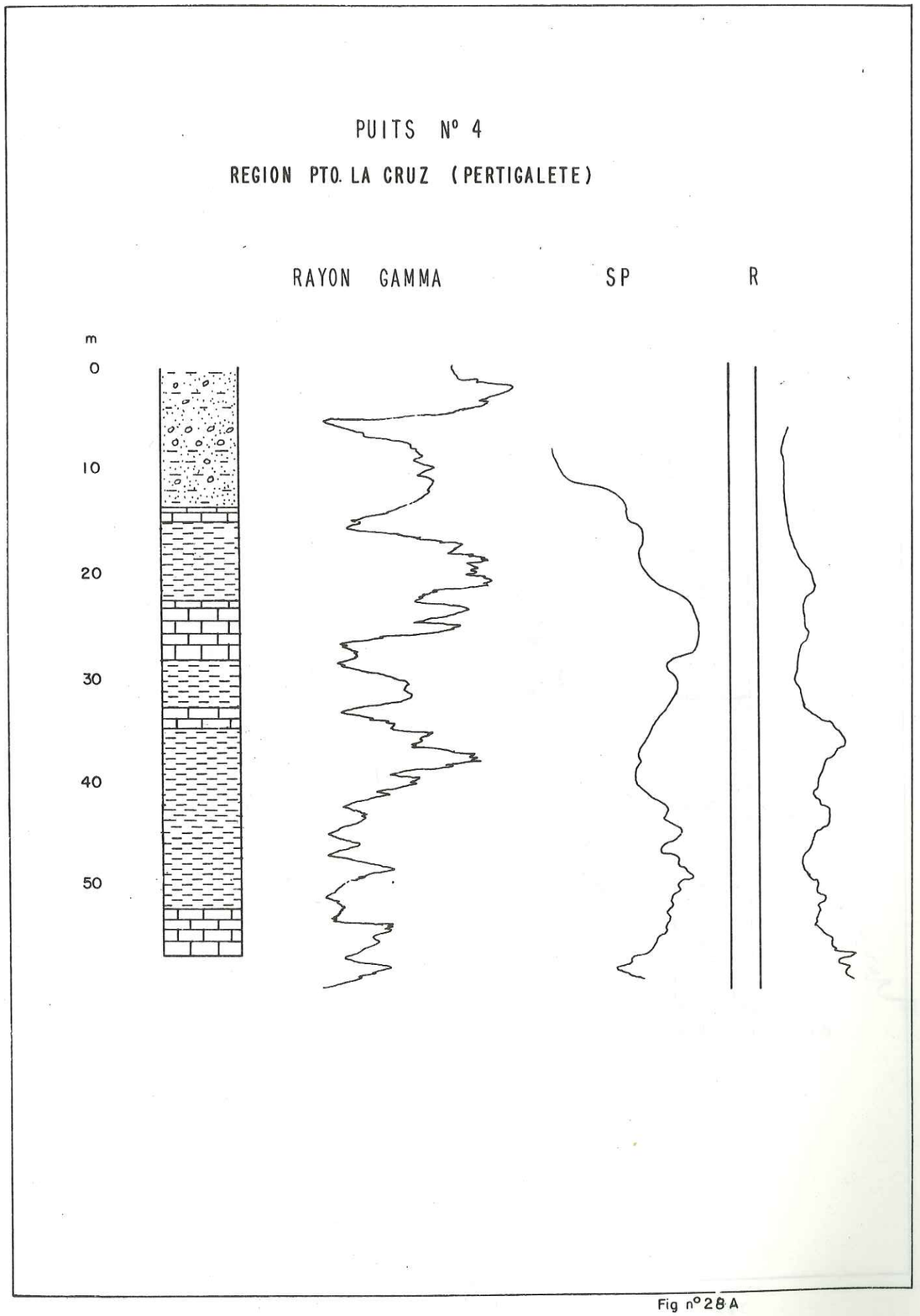


Fig n° 28 A

PUITS N° 5 A

REGION PTO. LA CRUZ (PERTIGALETE)

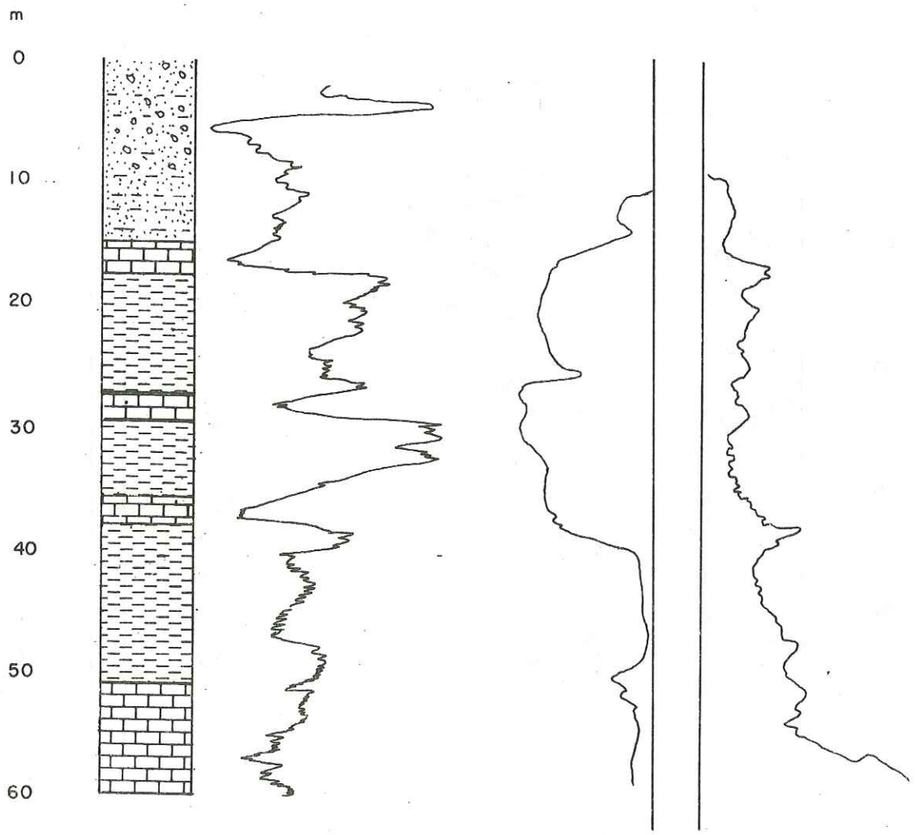


Fig n° 28B

PUITS N° 6

REGION PTO LA CRUZ (PERTIGALETE)

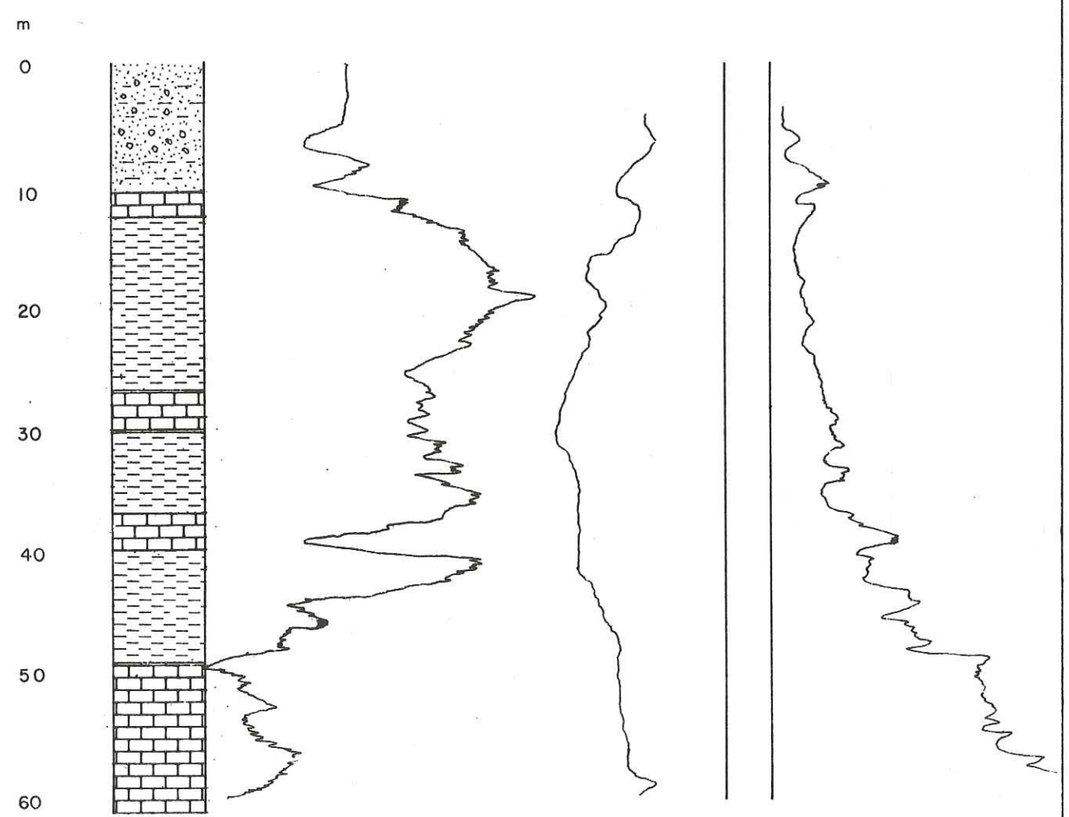


Fig n° 28C

7.3.1- Caractéristiques des nappes aquifères de la formation El Cantil

En accord avec les données existantes sur plusieurs puits dans la zone étudiée, nous essayerons de déterminer d'une manière approximative, les paramètres hydrodynamiques des nappes aquifères de la formation El Cantil.

Caractéristiques des puits existants:

Puits N°	Profondeur m	cote m	NS m	ND m	Q compresseur pompage l/s
P.7	52	47	14	37	3.0 12.0
P.8	59	47	13	29	5.5 15.0
P.9	62	43	15	35	3.4 12.0
P.HC	60	410	20	-	- 15.0

tableau n° 19

7.3.1.1- Calcul du gradient hydraulique

P.7 - P.9 $\quad I = \frac{33 - 29}{150} = 0.03$

P.8 - P.9 $\quad I = \frac{35 - 29}{80} = 0.075$

P - P.7 Cogollar $\quad I = \frac{390 - 33}{8000} = 0.045$

7.3.1.2- Calcul de la tansmissivité (T)

Pour calculer la transmissivité des aquifères, nous appliquons la formule:

$$T = K \times e$$

K = est la perméabilité due à la fissuration, et varie de 0.12×10^{-2} à 0.2×10^{-4} m/s

e = est l'épaisseur des nappes aquifères connues 18 mètres

En appliquant la formule, nous voyons que la transmissivité peut varier de $1,9 \times 10^{-2}$ à 3.2×10^{-4} m^2/s.

7.3.1.3- Calcul du flux

Les valeurs déterminées de la transmissivité (T) permettront de faire une estimation plus ou moins acceptable des réserves en eaux souterraines de la formation El Cantil pour la zone en question.

En accord avec la loi de Darcy, le débit de flux d'un fluide à travers les sédiments est directement proportionnel au gradient hydraulique et peut être écrit comme suit:

$$Q = T \times I \times L$$

Q = débit d'écoulement
T = coefficient de transmissivité du matériau
I = gradient hydraulique
L = longueur de la section à travers laquelle circule le liquide

Nous obtenons alors:

T = 1.9×10^{-2} à 3.2×10^{-4} m^2/s
L = 8000 m
I = 0.045

d'ou $Q = 7 \text{ à } 0.12 \ m^3/s$

7.3.2- Détermination de la porosité utile par la méthode d'Archie

La méthode d'Archie est basée sur la formule d'Archie qui consiste à déterminer le rapport entre la résistivité (Re) d'un horizon mesurée par sondage électrique ou par logging et la résistivité de l'eau contenu dans la couche (Rw).

$$F = \frac{Re}{Rw} = \frac{\alpha}{\phi^m}$$

F = Facteur de formation
Re = Résistivité de l'aquifère
Rw = Résistivité de l'eau contenue
α = Paramètre variant de 0.8 à 1 (0.8 dans les sables et 1 dans les formations compactes)
m = 1.3 pour les formations compactes pouvant aller jusqu'à 2
ϕ = Porosité utile ou coefficient d'emmagasinement

$$F = \frac{Re}{Rw} = \frac{1}{\phi^2}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{Rw}{Re}}$$

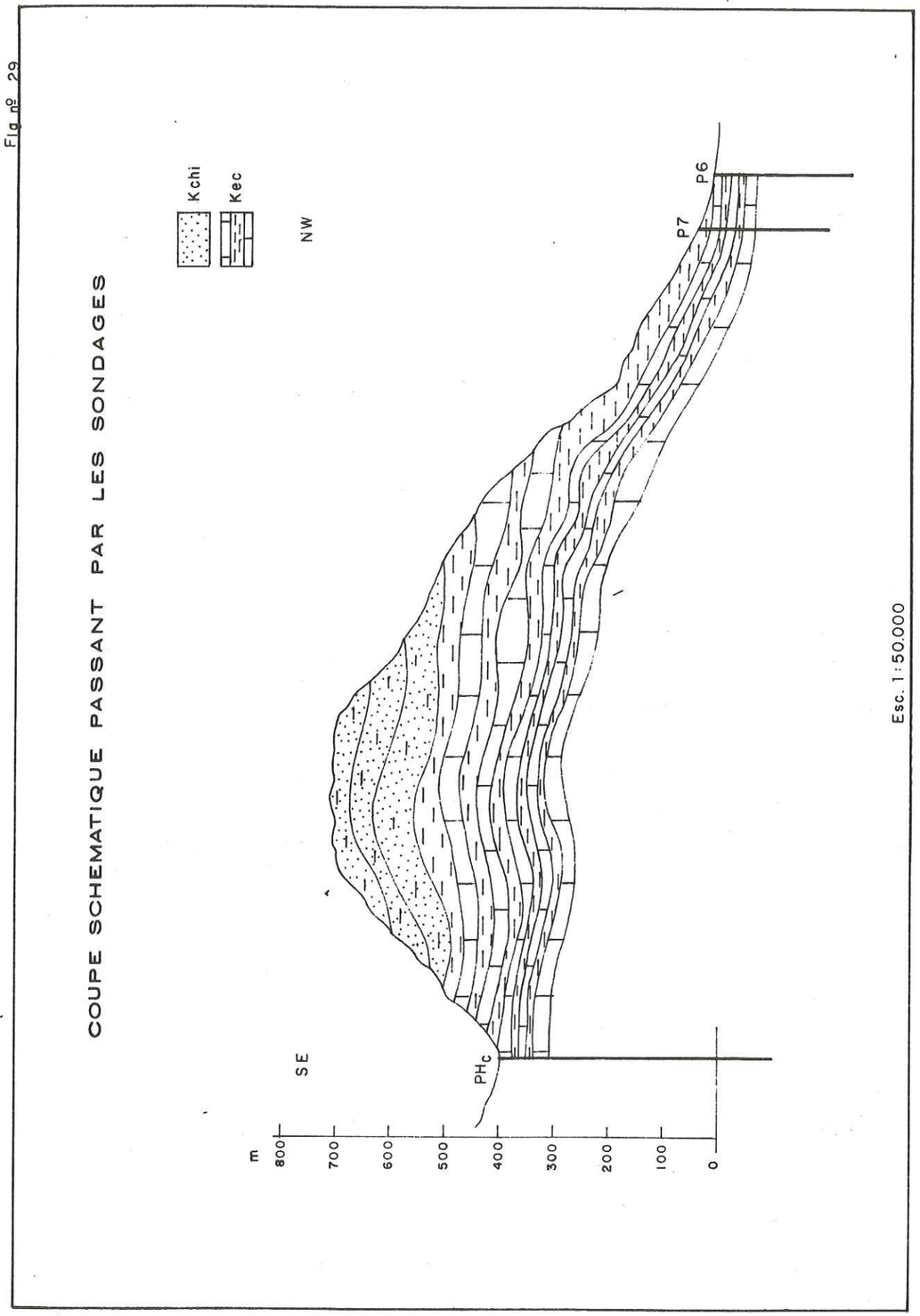
Les valeurs obtenues par son application doivent obligatoirement être affectées d'un coefficient de correction correspondant au rapport entre la hauteur de l'aquifère saturé en eau et l'épaisseur de l'aquifère non argileux.

Elles ont été estimées là où nous avons disposé de carottages électriques(formation E 1 Cantil).

Ainsi on a:

Re = 600 Ω. m
Rw = 40 Ω. m

Fig nº 29



ϕ = 0.24

Coefficient de correction = 0.5

La porosité utile corrigée est de : 0.12

7.4- CONCLUSIONS

Le carrotage gamma est très utilisé comme indicateur de lithologie et comme complément de l'éléctrolog. C'est ainsi que par l'analyse des courbes de S.P et rayon gamma, on a pu différencier 2 niveaux aquifères correspondant à la formation E1 Cantil. Ces nappes sont séparées par des niveaux d'argiles imperméables.

Nous avons aussi déterminé le coefficient d'emmagasinement à partir du carrotage éléctrique ; selon la méthode d'Archie sa valeur atteint 12%.

En général, l'eau dans les aquifères de la formation E1 Cantil est en charge et le gradient hydraulique est faible.

On peut dire que les valeurs de transmissivité (1.9×10^{-2} et 3.2×10^{-4}) les plus élevées se rapportent aux zones où les calcaires sont plus fissurés et karstifiés , permettant d'expliquer les forts débits des sources issues des massifs calcaires de la région.

CHAPITRE 8

8- HYDROGEOCHIMIE

8.1- GENERALITES

8.2- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

8.3- CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX

8.4- CLASSIFICATION CHIMIQUE ET REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES

8.5- CARTE DE DISTRIBUTION DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES rMg/rCa

8.6- MINERALISATION TOTALE

8.7- DEPOTS DE CALCAIRE

8.8- SOURCES THERMOMINERALES. GEOTHERMOMETRE Na-K-Ca

8.9- CLASSIFICATION DES EAUX POUR L'IRRIGATION

8.10 CONCLUSIONS

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

8- HYDROGEOCHIMIE

8.1- GENERALITES

Cette étude consiste en la détermination des caractéristiques physiques des eaux ainsi que les concentrations des différents éléments chimiques en solution.

Généralement les résultats obtenus permettent de connaître l'origine des eaux et les terrains par lesquels elles ont transité.

Dans la région de Puerto la Cruz-Cumana, nous avons recueilli près de 160 échantillons d'eau de sources, de puits, ainsi que de rivières et de cours d'eau intermittents. (Figure n° 30)

Ces échantillons d'eau ont été analysés au laboratoire du Service Départemental des eaux du M.A.R.N.R. à Barcelona, qui a déterminé les paramètres physiques et chimiques suivants: conductance spécifique, alcalinité, résidus d'évaporation à 180°C, pH, bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, nitrites, fluorures, calcium, magnesium, sodium, potassium, fer,silice, etc. (annexe 2)

On a calculé la dureté, la concentration totale des sels dissous, la proportion d'adsortion de sodium (SAR), l'indice de Langelier. Le pH, les températures de l'eau et de l'air, ont été mesurées au moment de la prise d'échantillons.

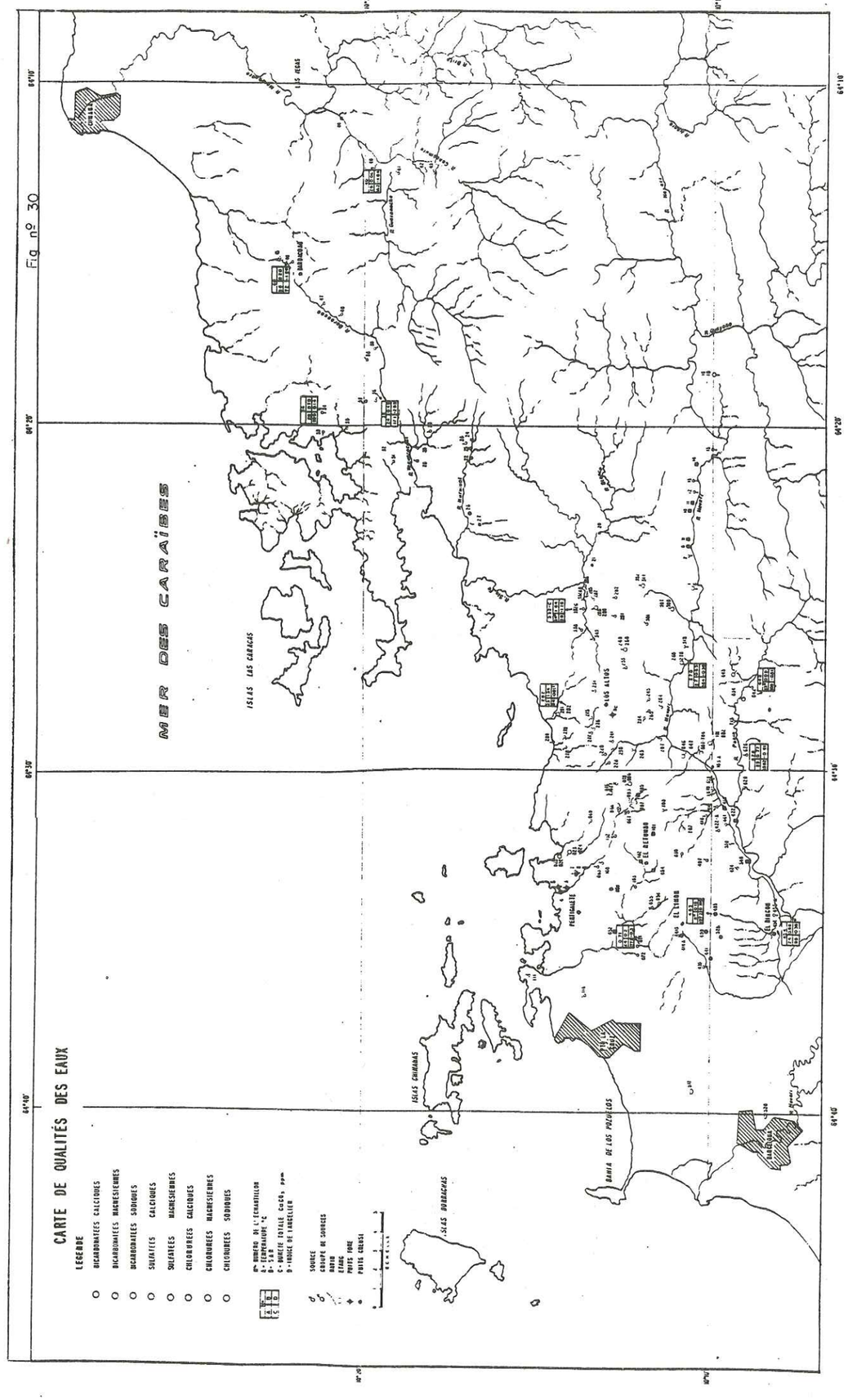
8.2- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les paramètres physiques étudiés, sont les débits, la température, la conductivité et le pH.

8.2.1- Le débit

Il varie dans la région de 0.1 à 17 l/s. pour les sources; cette variabilité s'explique par le fait qu'il existe parfois des galeries souterraines permettant le passage rapide et le ruissellement des eaux de précipitations. Le débit maximal est en saison pluvieuse et le

Fig nº 30



débit minimal en saison sèche où les précipitations sont rares.

8.2.2- Conductivité

C'est une des mesures qui sert à évaluer d'une façon très générale, le contenu total en sels dissousdans l'eau. Une eau est d'autant plus conductrice qu'elle contient en solution une plus grande quantité de matières minérales. La variation de la conductivité n'est pas grande, ce qui implique peu de différences de minéralisation de l'eau.

La mesure de résistivité ou de conductivité est un moyen de contrôler la qualité des eaux.

La conductivité des eaux de la majeure partie des sources se situe entre 50 et 750 micromhos, et plus nous nous rapprochons de la côte plus la conductivité augmente, allant jusqu'à des valeurs de 1166 micromhos.

8.2.3- Température des eaux

La température des eaux de la région varie entre 19 et 26°C. On trouve les eaux les plus froides dans la partie est, près du village de Nurucual.

Les températures les plus élevées (50°C) ont été énregistrées au long du ruisseau Pekin. Elle sont considérées comme méso-thermales $35 < T < 50$. Cette zone d'anomalies coincide avec une faille qui traverse ce ruisseau et pourrait servir de conduit aux eaux thermominérales.

8.2.3- pH

Le pH varie en fonction de la concentration en ions H^+

- milieu acide : pH < 7
- milieu neutre : pH = 7
- milieu basique : 7 < pH < 14

Dans la région les eaux de sources et celles des puits se situent entre 5 et 8 .

Il existe certains facteurs qui influencent sur le pH de l'eau tels que la température, la vitesse de circulation dans les conduits, la sortie de CO_2 ou l'oxydation.

Les eaux ayant un pH d'équilibre inférieur à 7 sont plus corrosives que des eaux avec un pH d'équilibre supérieur à 7.

8.3- CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX

La fig n° 31 A, B donne une information graphique concernant trois principaux cations et anions exprimés en meq. pour six échantillons d'eaux de différentes sources.

Quant l'eau contient peu de sels dissous, elle est généralement bicarbonatée calcique et à mesure que le taux de sels dissous augmente, elle a tendance à devenir chlorurée sodique ou magnésienne.

L'accroissement de la composition chimique évolue avec la distance depuis l'aire de recharge.

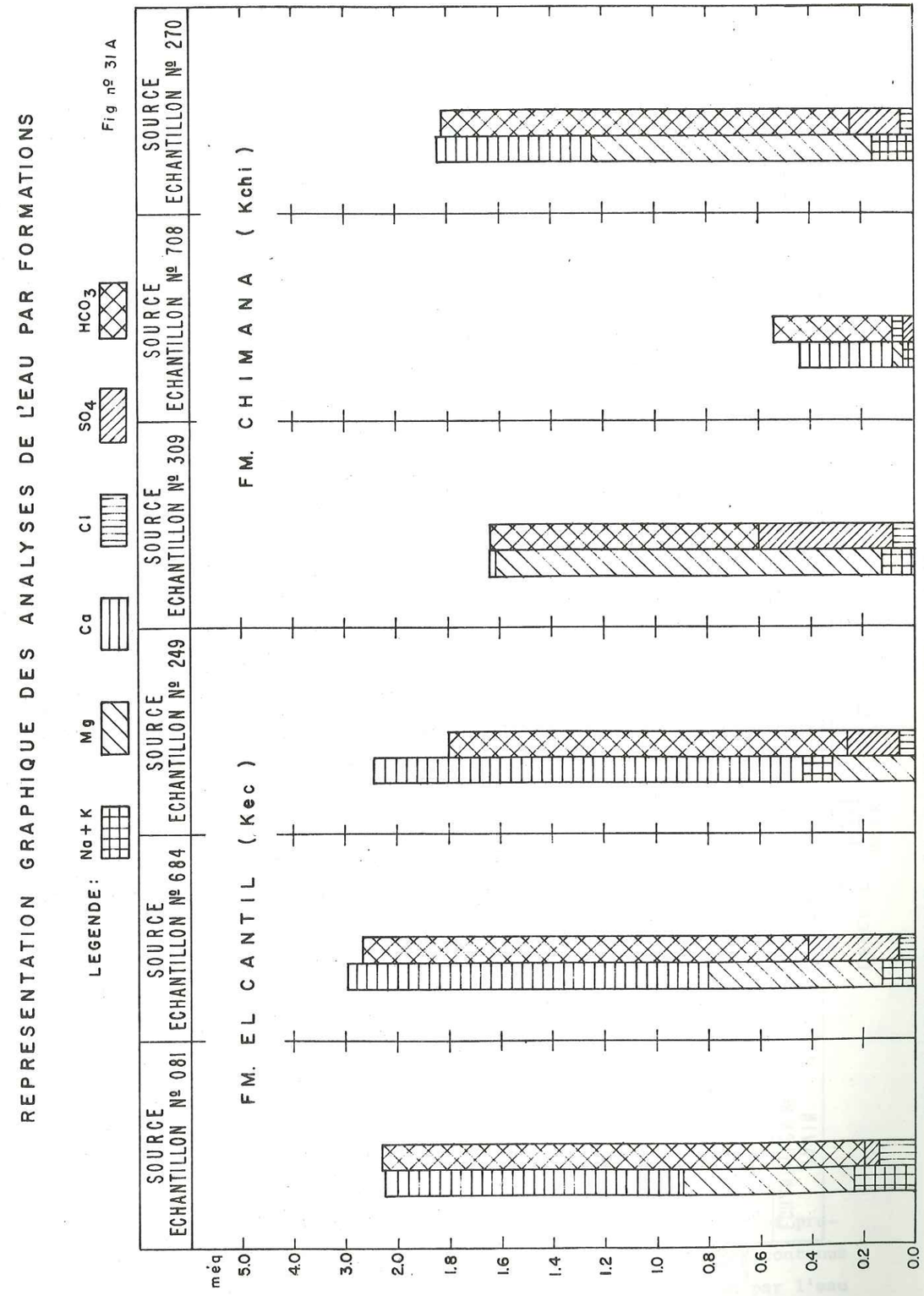
8.3.1- Le calcium

Le calcium (Ca) provient des calcaires composés de carbonate de calcium ($CaCO_3$). Le calcium détermine pour la plus grande part la dureté de l'eau.

La concentration en calcium sur 150 échantillons analysés varie de 1 à 130 ppm.

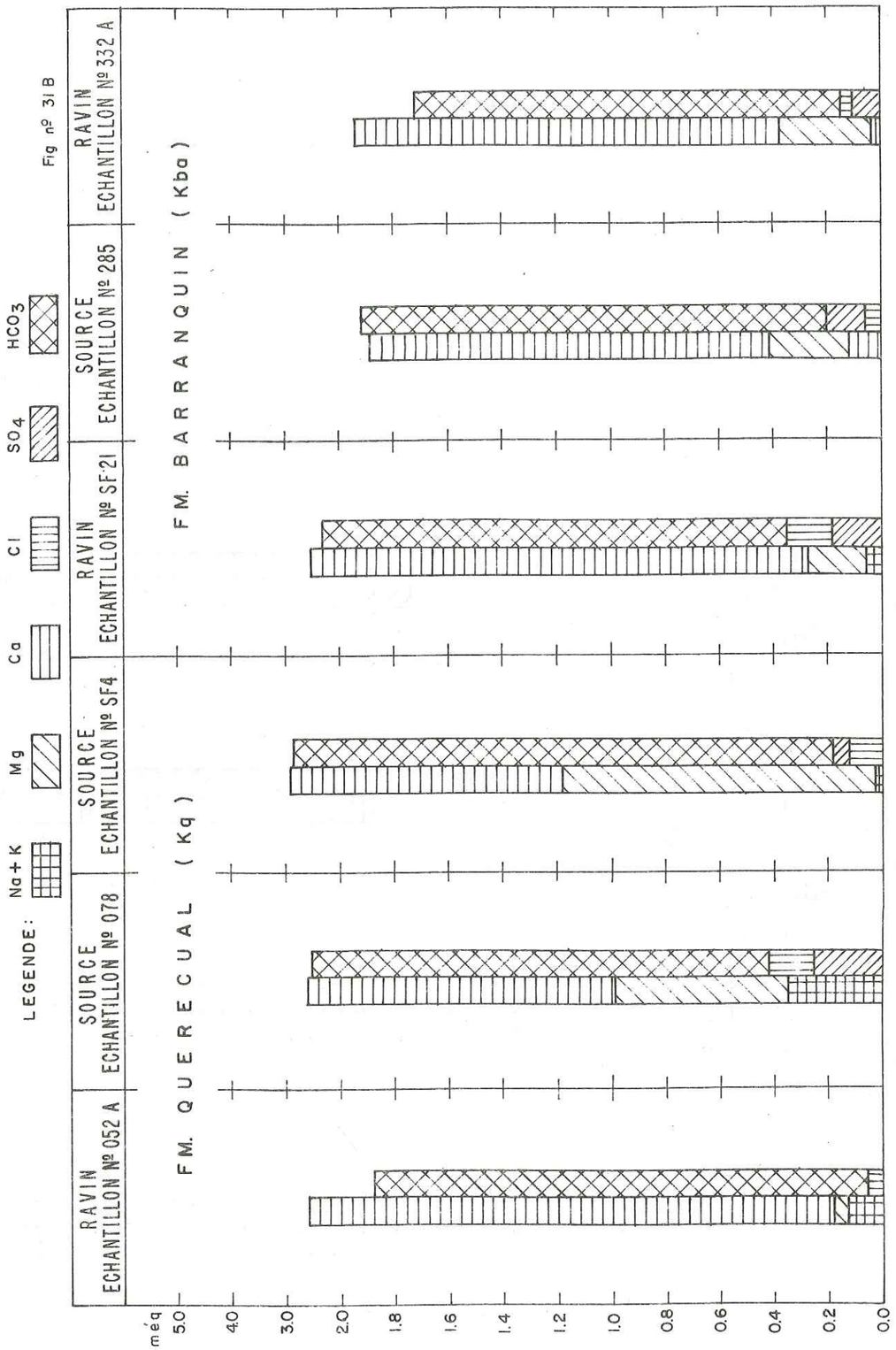
8.3.2- Le magnésium

Le magnésium (Mg) peut provenir de nombreuses roches mais plus spécialement des dolomies et des calcaires dolomitiques qui contiennent de petites quantités de carbonate de magnésie. On rencontre le magnésium en plus faibles quantités que le calcium.



REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES DE L'EAU PAR FORMATIONS

Fig nº 31 B



Le magnésium et le calcium sont les deux constituants principaux responsables de la dureté de 1'eau.

Sur 150 échantillons analysés, on remarque que la teneur varie de 0.2 à 101 ppm.

8.3.3- Le sodium et le potassium

Le sodium (Na) et le potassium (K) proviennent de la dissolution de nombreuses roches, mais la majorité peut provenir des précipitations chargées en sels, des zones où l'évaporation est très forte, ou de l'influence de 1'eau de la mer.

Sur 150 échantillons analysés, la teneur varie de 0.3 à 71 ppm de sodium et de 0.01 à 7.8 ppm de potassium.

8.3.4- Les bicarbonates

Les bicarbonates sont les plus répandus dans 1'eau; ceci est dû à l'abondance de minéraux carbonatés présents dans la nature, ainsi qu'au dioyde de carbone qui facilite la dissolution des bicarbonates.

Sur 150 échantillons analysés la teneur varie de 121 à 400 ppm.

8.3.5- Les sulfates

Les sulfates (SO_4) proviennent du gypse existant dans la région (au nord du lieu-dit el Rincon).

Sur 150 échantillons analysés la teneur en sulfates varie de 0.1 à 265 ppm.

8.3.2- Les chlorures

Les chlorures (Cl) sont abondants dans 1'eau de mer et proviennent en petites quantités de certains roches. Les chlorures contenus dans plusieurs échantillons peuvent indiquer une contamination par 1'eau

de mer.

Sur 150 échantillons d'eaux de sources et de rivières analysés la teneur en chlorures va de 1 à 200 ppm.

D'autres éléments comme les fluorures (F), les nitrates (NO_3) les nitrites (NO_2) se trovent en quantités infimes.

8.3.7- La silice

La silice (SiO_2) dans l'eau est probablement dérivée des silicates.

Sur 150 échantillons analysés, la teneur en silice va de 1 à 20 ppm.

Nous pouvons observer ces résultats dans des analyses sur les eaux provenant des formations Barranquin et Chimana.

8.3.8- La dureté

La dureté est causée par les sels de calcium et de magnésium.

Les eaux ayant une dureté inférieure à 60 ppm de $CaCO_3$ sont considérées comme douces; entre 60 et 120 ppm, elles sont classées comme étant neutres; les eaux ayant une dureté comprise entre 120 et 200 ppm. sont considérées comme dures; celles qui ont une dureté supérieur à 200 ppm sont considérées très dures.

Sur 150 échantillons analysés la teneur varie de 10 à 450 ppm de $(HCO_3)^2Ca$.

Dans la zone étudiée, on a analysé 150 échantillons en majorité de sources, cependant on a obtenu aussi quelques résultats pour des puits forés dans la région de Pertigalete. Les analyses des eaux de ces puits montrent que la teneur en chlorures varie de 129 à 565 ppm, la dureté carbonatée de 342 à 542 ppm et le pH de 7.1 à 7.2.

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

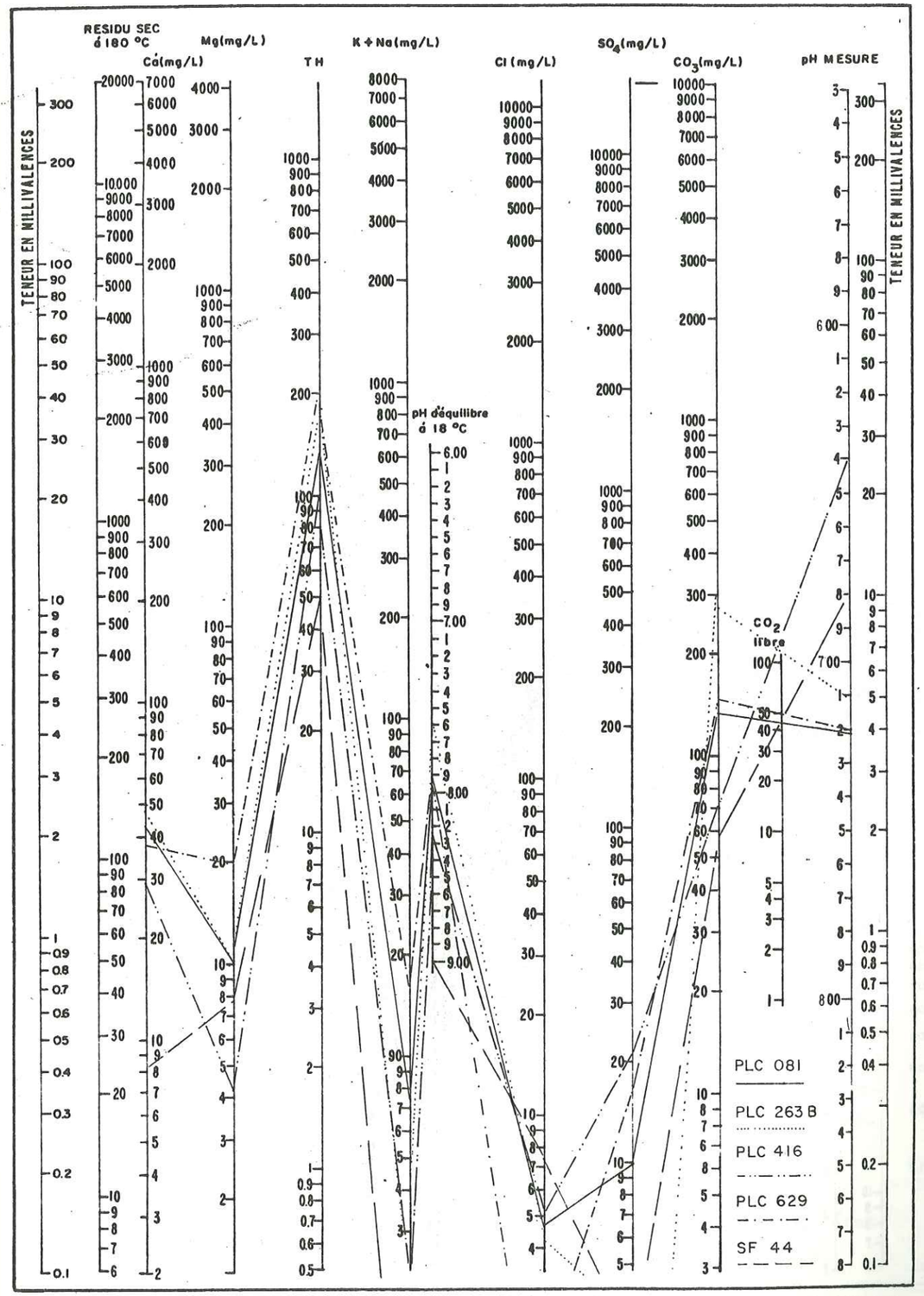


Fig. N°32 A

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

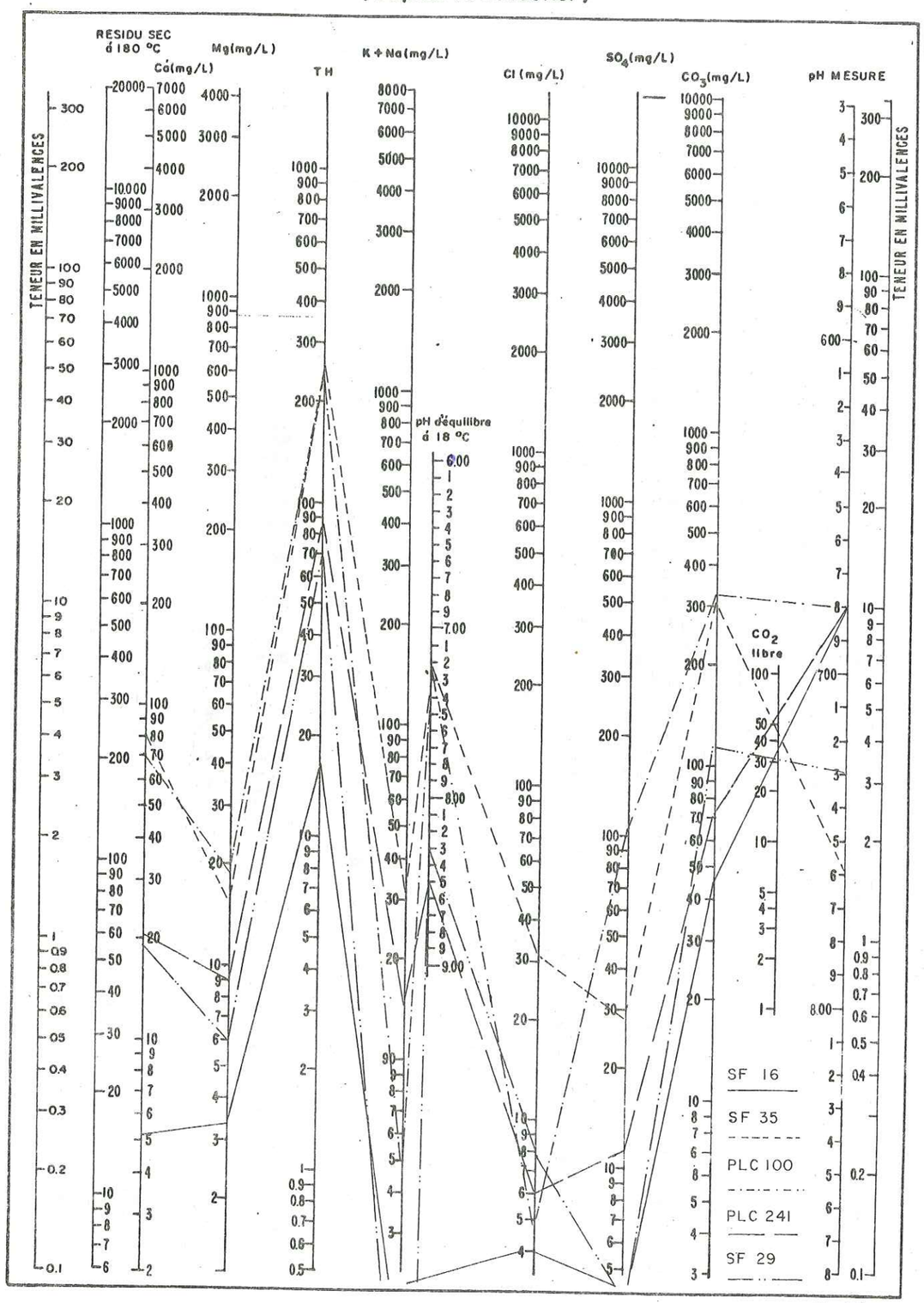


Fig N°32 B

Les valeurs maxima en chlorures et dureté ont été observées dans le puits n° 1. Ceci est dû à la proximité de la mer.

8.4- CLASSIFICATIONS CHIMIQUES ET REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES

Les principaux éléments contenus dans les eaux sont:

Les cations Ca^{++} Mg^{++} Na^{+} K^{+}

Les anions $CO_3^{=}$ HCO_3^{-} $SO_4^{=}$ Cl^{-}

Nous avons divisé les eaux de la région en plusieurs familles, compte tenu de la quantité de ces éléments.

Les résultats des analyses ont été regroupés sous la forme d'un diagramme semi-logarithmique Schoeller - Berkaloff (fig n°32 A, B).

8.4.1- Les eaux bicarbonatées

8.4.1.1- Famille des eaux bicarbonatées-calciques

Les eaux de ce type sont les plus courantes. Cette catégorie hydro-chimique est associée principalement aux roches crétacées à prédominance calcique et grèseuse.

La formule est :

$r\ HCO_3 > r\ SO_4 > r\ Cl$

$r\ Ca > r\ Mg > r\ (Na + K)$

8.4.1.2- Famille des eaux bicarbonatées-sodiques

Les eaux bicarbonatées sodiques sont en relation avec les dépôts arénacés du quaternaire et du Tertiaire.

A ce groupe appartiennent les eaux du torrent Pekin, qui sont sous l'influence d'une activité hydrothermale associée à des failles.

La formule est:

$r\ HCO_3 > r\ SO_4 > r\ Cl$
$r\ Na > r\ Mg > r\ Ca$

8.4.1.3- Famille des eaux bicarbonatées-magnésiennes

On peut dire que ces eaux proviennent essentiellement du lessivage de calcaires dolomitiques. Généralement elles sont caractérisées par:

$r\ HCO_3 > r\ Cl > r\ SO_4$
$r\ Mg > r\ Na > r\ Ca$

8.4.2- Les eaux sulfatées

8.4.2.1- Famille des eaux sulfatées-calciques

Généralement elles sont caractérisées par:

$r\ SO_4 > r\ HCO_3 > r\ Cl$
$r\ Ca > r\ Mg > r\ (Na + K)$

Les eaux de ce type sont dues à la présence de gypse dans la formation Caratas (lieu-dit el Rincon)

8.4.2.2- Famille des eaux sulfatées-magnésiennes

Ces eaux sont caractérisées par:

$r\ SO_4 > r\ HCO_3 > r\ Cl$
$r\ Mg > r\ Ca > r\ Na$

Elles ont été localisées dans certains régions de la formation Chimana. Les eaux de ce type résultent de la décomposition de la pyrite dans les grès.

8.4.3- Les eaux chlorurées

8.4.3.1- Famille des eaux chlorurées-sodiques

La formule chimique de ces eaux est:

$r\ Cl > r\ HCO_3 > r\ SO_4$
$r\ Na > r\ Ca > r\ Mg$

Les eaux de ce type s'observent dans le Tertiaire où l'on rencontre des argiles contenant du chlorure de sodium, mais aussi dans les formations envahies par l'eau de mer.

8.4.3.2- Famille des eaux chlorurées magnésiennes

La formule chimique est:

$r\ Cl > r\ HCO_3 > r\ SO_4$
$r\ Mg > r\ Ca > r\ Na$

Les eaux de ce type se rencontrent surtout sur les côtes; ceci est dû à une contamination par l'eau de mer.

8.4.3.3- Famille des eaux chlorurées-calciques

La formule chimique de ce groupe est:

$r\ Cl > r\ HCO_3 > r\ SO_4$
$r\ Ca > r\ Mg > r\ Na$

Les eaux de ce type proviennent de pollutions domestiques et elles ont été localisées prés de certaines villages (Barbacoas, el Rincon, el Retumbo).

8.5- CARTE DE DISTRIBUTION DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES rMg/rCa

La valeur du rapport caractéristiques rMg/rCa des eaux souterraines dépend surtout de la durée du contact avec la roche mère.

Le rapport rMg/rCa des eaux souterraines augmente dans la direction générale du flux, comme on peut le supposser suivant la solubilité relative des deux ions. L'ion Ca tend a se déposer pour former de la calcite et par conséquent le rapport caractéristique augmente.

La variation des valeurs du rapport caractéristique rMg/rCa permet donc de reconnaître les aires de recharge et la direction du ruissellement souterrain. Dans l'aire étudiée, ces valeurs varient depuis 0.1 jusqu'à plus de 3.

Pour déterminer les différences de durée de transit dans l'aquifère, nous avons réalisé une comparaison des ions et nous avons observé quelques variations correspondant à des durées du transit différentes.

Ces analyses montrent que les eaux les plus anciennes présentent un rapport rMg/rCa > 1 et un contenu en calcium de (40-1) ppm, en magnésium de (101-2) ppm, en sodium de (71-0.5)ppm, en sulfates de(75-0.1) ppm et en potassium de (8 -0) ppm; nous pouvons observer ces eaux dans les formations Guayuta, Chimana et Barranquin. Il y a une augmentation de calcium (108-7) ppm et une diminution de magnésium (41-0.2) ppm, de sodium (51-0.3) ppm et de potassium (5-0.01) ppm pour la formation El Cantil.

En accord avec la carte, nous pouvons obsèrver que les zones présentant un rapport rMg/rCa supérieur à 1 sont les suivantes:

- Le lieu-dit San Pedro avec une valeur de rMg/rCa de 2.5
- Le secteur situé près de la Cueva d'el Retumbo où la valeur de rMg/rCa est de 1.5
- Le lieu-dit los Altos où la valeur du rapport rMg/rCa est de 4
- Une autre où les valeurs sont élevées est observée le long du torrent Pekin. Ceci est probablement dû à l'existance d'eaux thermominérales qui modifient les valeurs du rapport.

Le rapport caractéristique rMg/rCa augmente très sensiblement de l'amont vers l'aval du bassin versant.

On remarque une augmentation du rapport dans les régions alluviales situées à l'est de Puerto la Cruz où le rapport augmente gra-

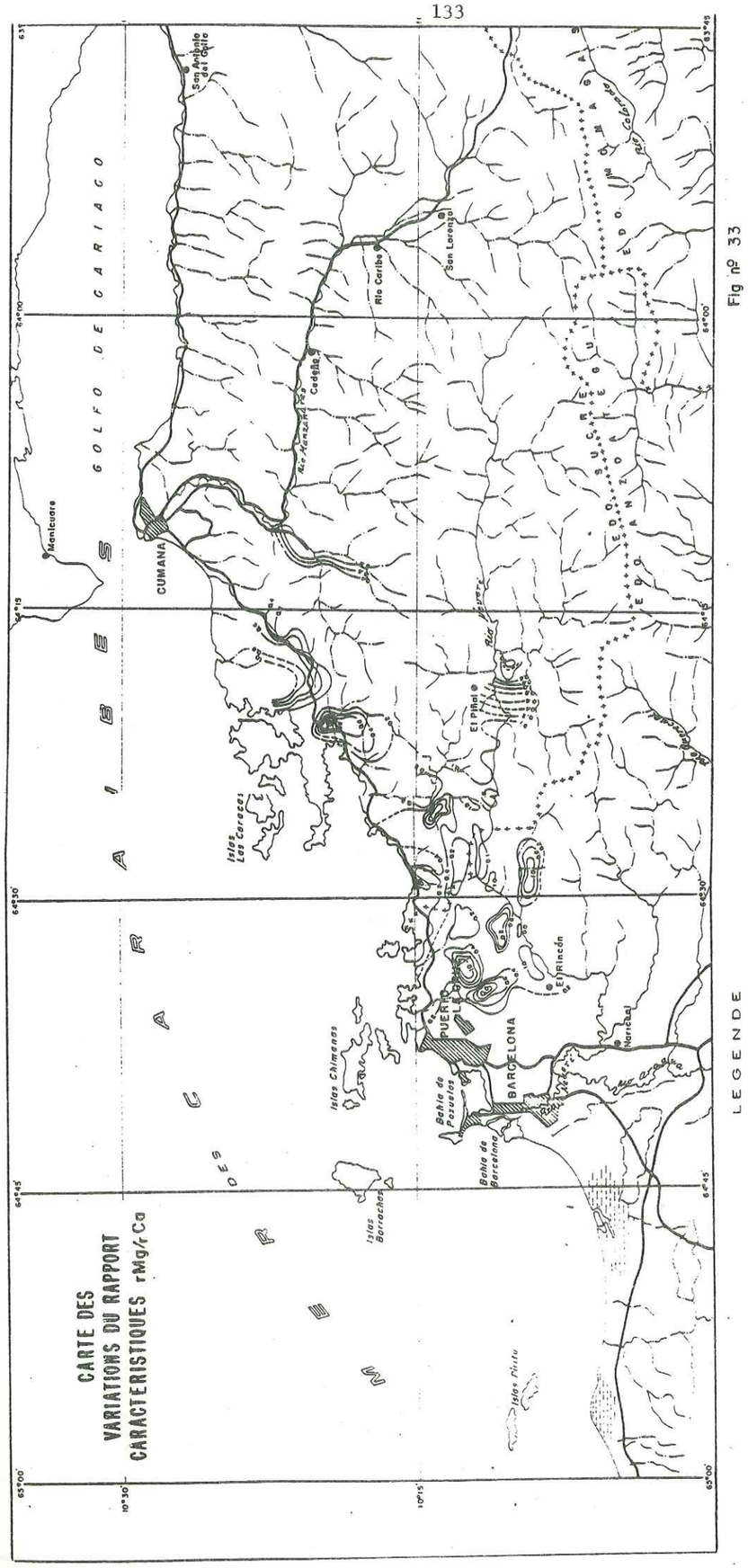


Fig nº 33

duellement de 0.4 à 1.(fig n° 33).

8.6- MINERALISATION TOTALE

Les teneurs en sels dissous varient entre 30 et 1100 ppm et plus généralement entre 150 et 600 ppm, ce qui est considéré comme plus ou moins acceptable ,(selon les normes établies) pour l'alimentation humaine.

Des écantillons d'eau analysés pris dans certains endroits le long de la côte, contiennent de 800-1100 ppm de sels dissous; les concentrations en chlorures sont élevées.

Vers l'est de Puerto la Cruz, on observe aussi un accroissement atteignant des valeurs de 1000 ppm et couvrant une zone limitée (fig n° 34).

On constate une variation des teneurs en sels dissous, indiquant que les zones contenant peu de sels dissous sont très près de l'aire de recharge et que les zones riches en sels dissous sont plus éloignées de l'aire de recharge.

Les eaux sont généralement douces sauf en bordure de la mer où l'infiltration de l'eau de mer se fait sentir sur une distance à la côte variant de quelques mètres à 1 Km, les sels dissous passant d'une valeur inférieure à 300 ppm à une valeur souvent élevée (2500 ppm).

8.7- DEPOTS DE CALCAIRE

A l'émergence, par suite de l'abaissement de la température et de la pression, les substances minérales dissoutes précipitent formant des dépôts de carbonate de calcium sous forme de calcite qui constitue les travertins.

Ces dépôts se présentent sous forme amorphe de couleur jaune gris.

Les affleurements sont dispersés et sont decoupés par le réseau hydrographique là où affleure la formation Querequal.

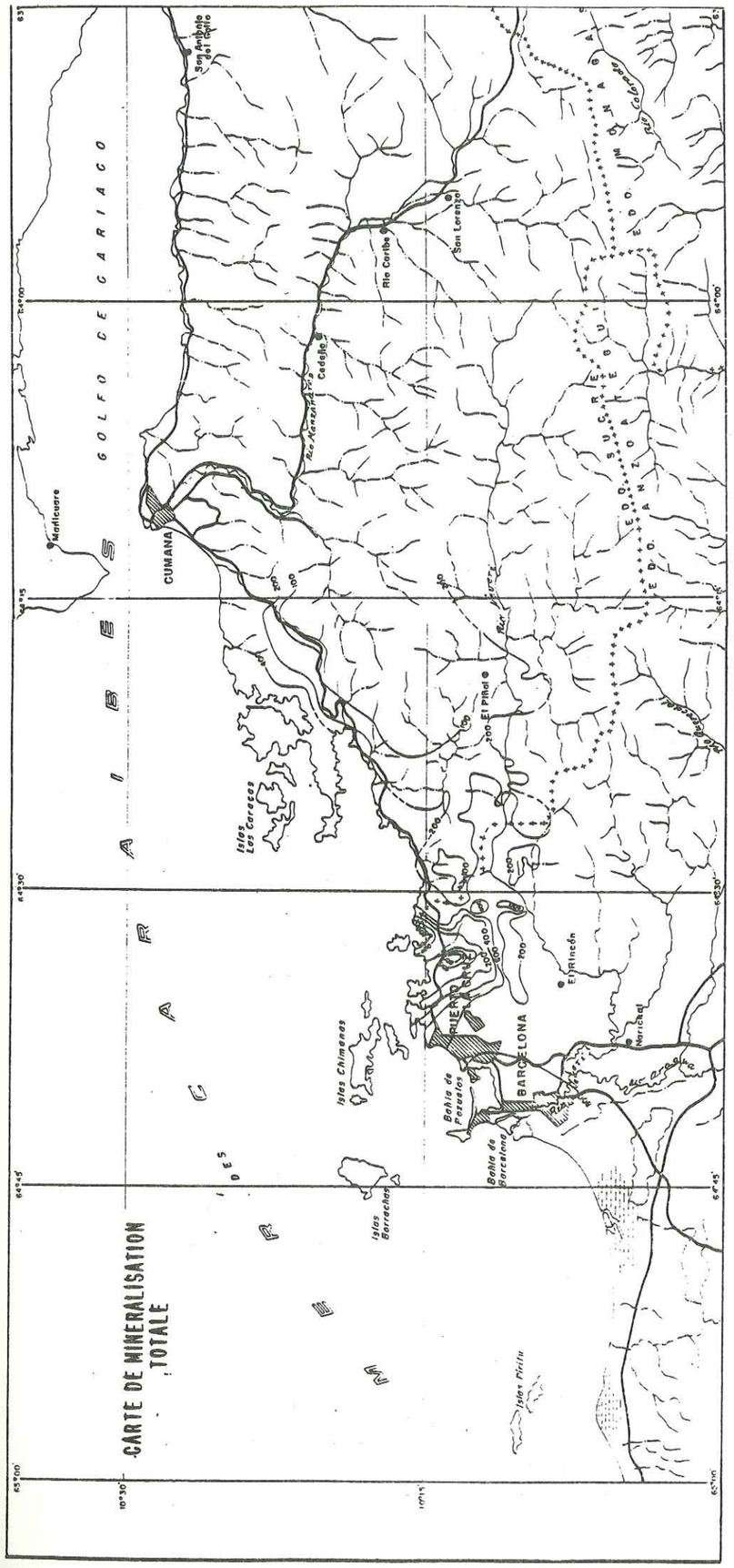


Fig nº 34

8.8- SOURCES THERMOMINERALES. GEOTHERMOMETRE Na-K-Ca

La source de Pekin est située en rive droite du ravin Pekin, affluent de la rivière Neveri; cette source émerge dans la série des roches crétacées (formation Querequal). La composition chimique de cette eau est bicarbonatée calcique.

Cette source actuellement dépose du carbonate de calcium (travertins).

La température à l'émergence est comprise entre 48 et 50 °C; mais il est possible également de déterminer la température maximale des eaux en profondeur. Plusieurs géothermomètres chimiques ont été proposés; mais il semble que les plus précis et les plus fiables sont ceux proposés d'une part par R.O. FOURNIER, J.J. ROWE, A.W TRUESDEL (1966, 1970, 1973, 1974) et d'autre part par H. et M. SCHOELLER (1976).

Lors de l'utilisation du géothermomètre Na-K-Ca proposé par TRUESDEL on admet que les températures calculées par la formule à partir de la composition moléculaire des eaux correspondent à des températures maximales atteintes par les eaux en profondeur puisqu'elles correspondent à des teneurs en sodium, potassium et calcium faibles et ne sont pas modifiées par refroidissement des eaux lors d'un mélange au cours de la remontée vers la surface.

La composition chimique de cette source est la suivante:

Source de Pekin
t° émergence en °C = 50

	ppm	milli-mole	log
Na	242	100	2
K	9	0.23	- 0.64
Ca	4000	10.5	1.02

$$t = \frac{1647}{\log Na/K + \beta \log \sqrt{Ca}/Na + 2.24} - 273$$

$\beta = 4/3$ équilibre atteint à $t < 100°C$
$\beta = 1/3$ équilibre atteint à $t > 100°C$

$$t = \frac{1647}{3.88} - 273$$

$$t = 152\,°C$$

On voit donc que l'on est en présence d'une forte anomalie géothermique liée à un grand accident tectonique vraisemblablement encore actif.

8.9- CLASSIFICATION DES EAUX POUR L'IRRIGATION

La qualité des eaux pour l'irrigation est conditionnée principalement par la salinité et le risque d'alcalinisation des sols.

Les eaux pour l'irrigation ont été classées en accord avec le diagramme basé sur leur conductivité électrique et la relation d'adsorption du sodium (SAR).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Mg + Ca}{2}}} \quad meq$$

Selon leurs conductivités, les eaux ont été classées de quatre manières différentes:

- C_1 : Conductivité à 25°C inférieure à 250 mhos/cm; eaux de faible salinité.
- C_2 : Conductivité à 25°C comprise entre 250 et 750 mhos/cm; eaux de salinité moyenne.
- C_3 : Conductivité à 25°C comprise entre 750 et 2250 mhos/cm; eaux à forte salinité.
- C_4 : Conductivité à 25°C comprise entre 2250 et 5000 mhos/cm; eaux à salinité très forte.

Selon le taux d'adsoption de sodium (SAR), on a la classification suivante:

- S_1 : Eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols
(SAR $<$ 10)

- S_2 : Eaux utilisées avec un danger d'alcalinisation des sols appreciable
(SAR = 10 à 18)

- S_3 : Eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation des sols
(SAR = 18 à 26)

- S_4 : Eaux présentant un danger d'alcalinisation très forte des sols
(SAR $>$ 26)

Les eaux de la région étudiée sont généralement de bonne qualité et dans certains cas d'excellente qualité . Celles-ci sont bicarbonatées calciques ou magnésiénnes.Ces eaux appartiennent au type C_2 S_1 et représentent 75% du total; C_1S_1 occupant 20% et les autres 5%. La majorité de ces eaux sont excellentes pour 1'irrigation. (fig n° 35).

8.9'- CONCLUSIONS

Les analyses reportées sur le diagramme de Schoeller-Berkallof permettent de se rendre compte des caractéristiques chimiques des différentes résurgences.

En général, les réseaux dans la région confèrent aux eaux une homogénéité remarquable quant à leur composition chimique; la nature chimique de l'eau est en effet sensible aux conditions du milieu qu'elle traverse.

Le calcium est le composant principal près de l'aire de recharge le magnésium s'y trouve en quantité très faible. La plus grande partie du calcium est fournie par les formations calcaires, tandis que le magnésium provient des formations dolomitiques, de l'évolution du rapport rMg/rCa ou de la contamination par l'eau de mer.

Le bicarbonate est le principal anion. Sa teneur augmente des aires de recharge vers les exutoires.

CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

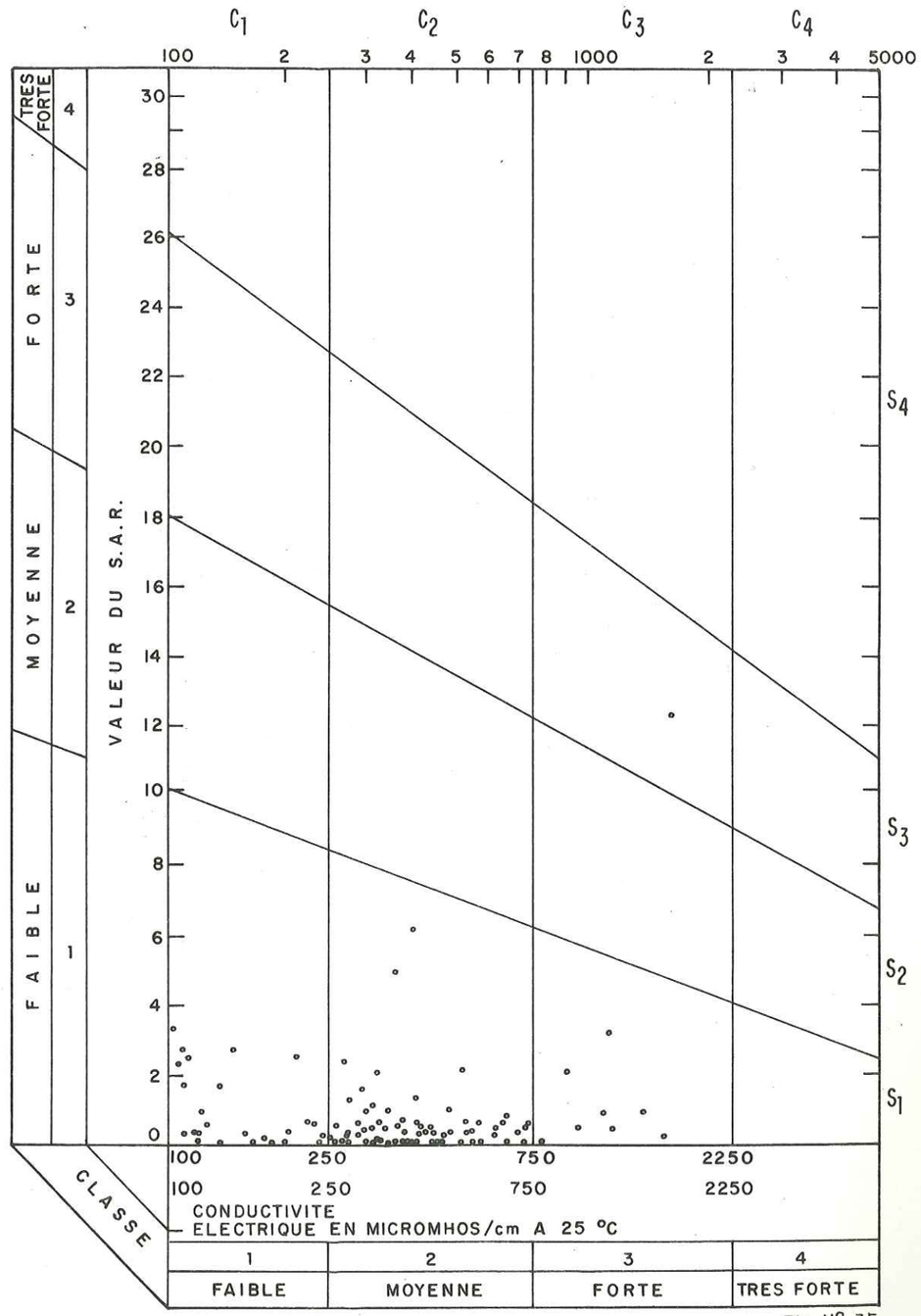


Fig. Nº 35

La teneur en chlorures de l'eau renseigne généralement sur le contenu en sels dissous; on observe une faible concentration dans les calcaires de la zone de recharge.

L'étude des proprietés physico chimiques des eaux souterraines montre que la plupart des eaux souterraines sont bicarbonatées calciques et magnésiennes et liées principalement aux roches calcaires des formations El Cantil, Querequal, et San Antonio.

Les teneurs très élevées en sulfates proviennent des gypses présents dans le Tertiare (formation Caratas).

Les eaux de la région étudiée ont un pH neutre à légérement alcalin à cause du contenu élevé en bicarbonate de calcium $(HCO_3)^2Ca$.

En accord avec les normes établies l'eau est d'excellente qualité.

CHAPITRE 9

9- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

9.1- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

9.2- CONCLUSIONS GENERALES

9.3- RECOMMANDATIONS

9- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

9.1- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

L'étude hydrogéologique de la région, et plus spécialement des formations calcaires qui y occupent une grande place, nous a permis d'apporter un certain nombre de précisions et de données sur des problèmes enore peu étudiés dans les régions arides, sur de grandes surfaces.

La région d'étude située dans l'est du Vénézuéla appartient aux états d'Anzoategui et de Sucre, à l'est de la Sierra de l'Intérieur, et elle a une superficie de 1228 Km^2.

L'altitude la plus élevée qui est de 1200 m joue un grand rôle dans les variations climatiques.

La région possède un climat aride avec des températures pouvant atteindre la moyenne annuelle maximale de 33°C et la moyenne annuelle minimale de 21°C.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 400 à 500 mm dans la partie basse et de 2100 à 2300 mm dans la partie haute de la zone soit une moyenne pluviomètrique annuelle sur l'ensemble de la région de 1200 mm.

Les précipitations se produisent pour 85 à 90% pendant la saison des pluies qui dure six mois et pour 10 à 15% pendant les six mois de la saison sèche.

Les diverses méthodes de calcul et l'établissement du bilan nous conduisent à admettre que, sur l'ensemble de la région, l'évapotranspiration réelle représente le pourcentage élevé de 75 à 80% des précipitations, que le ruissellement représente, lui, 15 à 20% des précipitations et que l'infiltration sur l'ensemble de la région représente, elle, environ 5% de la lame d'eau précipitée.

En ce qui concerne la géologie, notre étude basée sur une

cartographie détaillée de l'ensemble de la région, nous a permis de montrer que les formations stratigraphiques perméables sont:

- Les calcaires de la formation El Cantil, perméables à cause des fissures, des fractures, de la dissolution ou de l'association des ces phénomènes.

- Les calcaires de la formation Querequal perméables par fracturation et plus rarement par dissolution.

- Les grès de la formation Chimana et Barranquin perméables par fracturation.

- Les alluvions ont essentiellement une perméabilité en fonction de leur granulométrie. Les perméabilités sont d'autant meilleures que l'on a une granulométrie plus grossière et des élements classés. Ceci s'observe dans les vallées alluviales des rivières où les perméabilités sont plus élevées que dans les plaines côtières.

Les alluvions des rivières ont, elles, ne perméabilité variable qui diminue généralement de l'amont vers l'aval.

Toutes les autres formations sont considérées comme étant pratiquement imperméables.

La formation El Cantil présente une séquence de roches sédimentaires qui ont subi plusieurs périodes de déformation et de karstification.

Dans la formation El Cantil quand le calcaire est assez épais et que les conditions bioclimatiques favorisent l'infiltration, des formes karstiques profondes se sont développées comme dans la région de Caripe (grotte el Guacharo dans l'état de Monagas).

La porosité caractérisant les roches des différentes formations qui affleurent dans la région, s'est développée probablement pendant l'Oligocène - Miocène, les roches ayant été soumises à une activité tectonique qui a donné naissance aux fractures et aux fissures.

Après les analyses effectuées sur les fissures fines (méthode de Kiraly) et les essais à la fluorescéine on peut dire que la région étudiée montre des aquifères très hétérogénes et l'on peut distinguer des zones à fissures fines où la perméabilité équivalente des roches calcaires varie de 0.12×10^{-1} à 0.5×10^{-5} m/s où l'écoulement est lent et des chenaux où la perméabilité est très élevée de l'ordre de 0.24 m/s dans lesquels les circulations sont très rapides.

Les valeurs les plus élevées des débits sont dues à des perméabilité plus fortes et donc à une fissuration plus intense.

La porosité utile des calcaires El Cantil est voisine de 12%.

D'une façon génerale, la composition chimique est assez uniforme.

Les rapport caractéristiques rMg/rCa varient de 0.2 à 3.0 pour la plus grande partie de la région.

9.2- CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Ayant axé notre étude essentiellement sur le comportement hydrogéologique des formations fissurées et karstifiées dans la partie est du Vénézuela correspondant à la région de Puerto La Cruz-Cumana dont la superficie est considérable, nous avons été amené d'une part à laisser de côté de nombreux aspects de l'hydrogéologie régionale et en particulier ce qui concerne l'hydrogéologie des formations quaternaires et d'autre part à limiter nos recherches aux aspects généraux de l'hydrogéologie des diverses formations du substratum pour n'étudier que l'influence directe de la structure régionale et de la nature lithologiques des divers horizons stratigraphiques dans quelques secteurs clefs.

C'est donc l'ensemble des résultats que nous ont fournis les analyses géomorphométriques d'une part et de la fissuration d'autre part qui permettent de comprendre pourquoi et comment se fait l'infiltration des eaux, que l'étude du bilan hydrologique nous a permis de quantifier dans des formations calcaires dont la perméabilité n'est due qu'à l'effet de la fracturation des divers massifs et de la fissuration qui en est résultée.

Si l'analyse des courbes de tarissement nous a permis de préciser le comportement hydraulique des roches fissurées et en particulier des formations Querequal et Barranquin, et d'en déterminer la diffusivité, nous n'avons pu déterminer véritablement les valeurs des transmissivités et porosités utiles de ces formations par des méthodes comme celle de Mijatovic que nous avons tenté de mettre en oeuvre.

C'est dans le domaine de la détermination de ces caractéristiques hydrodynamiques qu'il conviendrait de poursuivre les recherches que nous n'avons pu mener a bien faute de moyens techniques et matériels suffisants.

Il est en effet certain que l'utilisation des méthodes dérivées de la géophysique telle que la méthode d'Archie ne peuvent que difficilement pallier le manque de données d'essais de pompage dont nous n'avons pu obtenir la réalisation ou la communication quand elles existaient.

Nous espérons néanmoins avoir réussi a montrer, aussi bien à partir de l'étude structurale qu'à partir des essais de coloration, l'importance de la fracturation dans l'hydrogéologie des formations fissurées et karstifiées de la Sierra de l'Intérieur au Vénézuela.

L'influence de cette fracturation se superpose à celle de la lithologie comme l'a fait apparaitre l'étude hydrochimique pour donner aux eaux des caractères qui traduisent bien leurs vitesses et leurs modes d'écoulement.

Par ailleurs la présence de sources thermominérales comme celles de Pekin montre bien que les accidents tectoniques à l'origine de la fracturation et de la fissuration sont des accidents profonds liées à l'évolution récente d'une région tourmentée de la bordure sud de la mer des Caraïbes.

C'est donc à partir de mesures plus nombreuses dans un plus grand nombre de secteurs, la mise en place de moyens d'observation plus nombreux et surtout de la réalisation d'essais de pompage systématiques que l'on pourra approfondir les premières données que nous apportons ici.

Nous avons toutefois montré l'importance de la connaissance du cadre géologique d'ensemble dans lequel se présentent les formations

fissurées de la Sierra de l'Intérieur au Vénézuela pour la compréhension du régime des eaux dans ces formations qui constituent certainement des réserves très importantes pour le pays dont il conviendra de définir le volume et les possibilités d'exploitation rationelle.

Dans ce pays semi-aride malgré des précipitations annuelles relativement abondantes mais mal réparties, comme dans beaucoup d'autres pays, c' est en effet vers les ressources en eau stockées dans les roches fissurées et karstifiées que l'on doit se tourner à l'avenir ; et nous souhaitons avoir montré l'intérêt des recherches dans une région où le régime des eaux souterraines est directement déterminé par les effets des multiples déformations tectoniques qui ont affecté les énormes masses de sédiments dans lesquels les horizons calcaires occupent une place essentielle.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Agie Joseph (1976).- Etude hydrogéologique de la nappe karstique de Modane, synclinorium de Dinant. Thèse 3e cycle Université de Bordeaux; France.

Amiot A (1974).- Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Les analyses chimiques en hydrogéologie.Ann. Spéléologie, 29,4 p 461 - 483.

Bakalowicz M.(1970).- Hydrodynamique karstique. Etude du bassin d'alimentation de la Monavat (Taurus Occidental, Turquie). Thèse 3e cycle, Paris.

Barraclough Jack and Marsh Owen T. (1962).- Aquifers and quality of ground water along The Gulf Coast. Florida Geological Survey n° 29 p 1-25.

Bonnet M. (1970).- Critique de la notion d'essais de puits, Bull B.R.G.M p 1-111.

Bianchi Luiz and Snow D.T (1969).- Permeability of crystalline rock interpreted from mesured orientations and apertures of fractures.Annals of aride zone 8,2 p 231-245.

Bogomolov G, Silin Betchourine (1955).- Hydrogéologie specialisée, Moscou.

Bois Ph. (1977).- Hydrologie générale. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Berkaloff E. (1970).- Interprétation des pompages d'essai. Bull. B.R.G.M 2, p 1-111.

Bueno Emilio (1979).- Analísis hidrogeológico e hidrogeoquímico de la cuenca del Lago de Valencia, M.A.R.N.R. Caracas ,p 1-27 .

Castany G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.

Castany G. (1970).- Méthode d'évaluation rapide des ressources en eaux d'une région. B.R.G.M, SGN 266 HYD. p 1-30.

Cebull S. (1972).- Fallas de corrimiento y su marco tectónico de Venezuela.IV Congreso Geológico de Venezuela.

Clark William E, Rufus H, Clarence G. Manke and Cag Joseph (1963).- Hydrology of Brooklyn Lake Near Keystone Heights, Florida, U.S. Geological Survey n° 33 p 1-43.

Constantinidis D, Sarrot Reynauld J. (1978).- Comparaison des méthodes du coefficient d'emmagasinement des nappes aquifères. Application aux formations alluviales et karstiques. de Thessalie Orientale (Grece). 103e Congrès nationale des sociétès savantes, Nancy,fasc.IV, p 163-164.

COPLANARH (1974).- Estudio geomorfológico del sistema montanoso Nor-Oriental, Caracas.

CORPORIENTE (1976).- Estudio preliminar de las alternativas factibles de localisatión de la planta de cemento de la región Nor-Oriental.

Cvijic (1918).- Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst Rec. Trv. Inst. Geographie Alpine,6, n° 4, p 1-56.

Charriere R. (1974).- Perfectionnements à la mesure des traceurs fluorescents. Applications à l'hydrogéologie. Thèse 3e cycle Geologie Appliquée. Grenoble.

Davidson E.S. (1973).- Geohydrology and water resources of the Tucson Basin, Arizona, Geological Survey Water Supply 1939;p 1-73.

Derreau (1967).- Précis de géomorphologie. Masson, Paris.

Drogue C. (1971).- Réflexions sur les possibilités offertes par les traceurs, pour la mesure de la vitesse d'écoulement dans

les roches calcaires fissurées;Bull. B.R.G.M. 2e serie, III n° 4,p 21-31.

Filosofov, V.P (1960).- Kratkoe rukovodstvo po morfometricekoma metoda poiskov poikov tektoniceskin struktur, Saratov,U.R.S.S.

Filosofov, V.P; Macarov, S.A; Stoliarov, E.H; Barovskaya, E.D; Golik, O.V; Chuveleva, N.A; Kirkina, R.G; Goluvev,N.N. (1966).- Detalnii morfometriches kii islie dovanii pa poiki y rosvedkii nefti y gas. Ministerbo Geologii C.C.C.R. Izd. Nedra.Moskba p 231-233.

Freile Alfonso J (1968).- Régiones climáticas de Venezuela. Boletin de Geología, volumen X, n° 19 p 3-154.

Garriga, H y Marquez G. (1954).- Informe geológico económico de los yacimientos de calizas en la región Naricual-Conoma.

Gèze B. (1965).- Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires Chroni. d'hydrogéologie, B.R.G.M,7, p 9-39.

Gonzalez de Juana (1980).- Geología de Venezuela y de sus cuncas petroliferas, tomo I,p 196-217; 272-291; tomo II,p 816-826.

Gorelov, S.V (1972).- Morfostrukturni analiz neftegazonosnih teritorij 12d Nauka-Moskva.

Hernandez, J.M; Hrgetic,P. (1976).- Estudio morfométrico del valle de Quibor, Caracas.

Guillaume,H.A; Boli H.M; Beckman,J.P. (1972).- Estratigrafía del Cretáceo inferior en la Serranía del Interior, Oriente de Venezuela. Memoria IV Congreso Geológico Venezolano, tomo III.

Hay J. y Aymard R (1979).- El Cretáceo en el subsuelo de Anzoategui y parte de Monagas, cuenca de Venezuela. Memoria V Congreso Geológico de Venezuela, p 1557-1574.

Heras Rafael (1970).- Métodos practicos para el estudio hidrológico completo de una cuenca. Centro de estudio hidrograficos. Direccion General de Obras Hidraulicas. Barcelona. España.

Jonston Richard H (1976).- Relation of ground water to surface water in four small basins of Delaware Coastal, U.of D. Delaware Geological Survey n° 24.

Kiraly L. (1968).- Eléments structuraux et alignement de phénomènes kartiques Bull. Soc;neuchateloise 91, p,127-146.

Kiraly L. (1969).- Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. Eclogae geol. Helv, 62,2 p 613-619.

Kiraly L. (1969).- Statical analysis of fractures; Geol. Rundschau 59, 1; p 125-151.

Leahy Patrick (1976).- Hydraulic characteristics of the Piney point aquifer and overlying confined bed near Dover, Delaware. U of Delaware Geological Survey n° 26.

Lemordant Y. (1977).- Infiltration et transfert des eaux souterraines en pays karstiques (Le plateau du Mont Revard Savoie). Thése 3^{e} cycle Université de Grenoble.

Lencastre A. (1961).- Manuel d'hydraulique Générale. Paris.

Loup Jean (1974).- Les eaux terrestres;hydrologie continentale.Masson Paris.

Mangin A. (1970).- Méthode d'analyse des courbes de décrue et tarissement dans les aquifères karstiques. C.R Sc, 270, p 1295-1297.

Mangin A. (1970).- Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de la décrue et du tarissement.Ann. Spéléo. 25, 3, p 581-610.

Mangin A. (1974-1975).- Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques.Ann. Spéléol. 29,3 p 283-332; 495-601 30,1 p 21-124.

Mangin A, Molinari,J. Paloc H. (1976).- Les traceurs en hydrogéologie karstiques.Leur apport à la connaissance des réservoirs aquifères calcaires.La Houille Blanche n° 3/4, p 261-267.

Marcello Tello (1955).- Geología del valle del Neveri, entre Boqueron y el Salto Estado Anzoategui. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Metz Harold L. (1965).- Geology of the Pilar fault. Zone state of Sucre, Venezuela fourth Caribbean Geological Congress.

Murray R.C (1960).- Origin of porosity in carbonate rocks sediment Petrol; 30 p 59-84.

Paloc H. (1965).- Les recherches hydrogéologiques et les captages et aménagements hydrauliques en milieu calcaire, enseignements tirés de quelques exemples récents. Chron. d'hydrogéologie 7 p 87-105.

Pearsons M.L (1972).- Determination of hydrogeological properties of fissured rocks.International Geological Congress,section 11 Montreal p89-99.

Pasquier Christian (1975).- Les aquifères karstiques du plateau D'Ornans (DOUBS). Le systeme de Blefond-Pont Les Moulins.Ann. Spéléol.30,3 p 387-400.

Prelogovic E; Hernitz Z; Blaskovic I (1969).- Primjena morfometrijskih metoda u rjesavanju strukturno tektonskih odnosa u podrucju bilogore(sjeverna hrvatska) Geol. Vjesnik,22 Zagreb.

Prelogovic E (1974).- Neotektonski i strukturni odnosi u dravskom podrucju, Dizertacija, Zagreb.

Pyre A. (1970).- Stratigraphy of norteastern Anzoategui, Venezuela. Amer. Assoc. Geol. Bull; vol 20 n°1 p 1-28.

Réménieras G. (1976).- L'hydrologie de 1'Ingénieur.

Rosales H. (1959).- Discusion sobre la formation El Cantil del Nor-Este de Venezuela.Bol. Geolo. M.E.M, vol 5,n°10,p 99-105.

Rosales H. (1960).- Estratigrafía del Cretáceo Paleoceno - Eoceno de la Serranía del Interior.Oriente de Venezuela.III Memoria, Concreso Geológico Venezolano,tomo II,p 471-499.

Salehi Ezatollah; Sarrot Reynauld J. (1977).- Détermination des taux de mélange des eaux thermominérales et superficielles par utilisation des géothermomètres chimiques en Azerbaidjan Oriental (Iran).102^{e} Congrès national des societés savantes,Limoges.Scie.,fasc II,p191-202.

Sarrot Reynauld J. (1957).- Résultats géologiques des travaux souterrains récents (Lias-Trias) dans la région de Grenoble, p 356

Sarrot Reynauld J. (1972).- Hydrogéologie du massif de Chamrouse.Exemple de liaison entre l'hydrogéologie et la structure tectonique.Rev. Géogra. Alp. Fr. 60 n°3 p 445-452.

Sarrot Reynauld J; Pierre Poulain et Adrien Marçé (1977).- Tectonique et anomalies géothermiques. Les sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du massif du Pelvoux.Géologie Alpine.Tome 53. p 75-83.

Schoeller H. (1962).- Les eaux souterraines.Masson , Paris.

Schoeller H. (1965).- Sur la limitation de la circulation en profondeur dans le karst.Chron.d'hydrogéologie, 7, p 43-49.

Schoeller H. (1965).- Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement).Hydrologie des roches fissurées. Col de Dubrovrnik , ,AISH-UNESCO, 1,p 3-20.

Von Der Osten Erimar (1954).- Geología de la bahia de Santa Fe (Estado Sucre). Boletin de Geología Venez. Caracas.Vol III n° 8, p 123-211.

Zamankhan M. (1975).- Hydrogéologie du bassin versant du Moharlu.Hydrodynamique des massifs calcaires de la région de Chiraz (Iran). Thèse de Docteur-Science. Université de Grenoble.

LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 : Précipitations mensuelles de la région Puerto la Cruz-Cumana pour la période 1969-1978 39

Tableau n° 2 : Stations climatologiques et pluviométriques (1969-1978).... 42

Tableau n° 3 : Précipitations moyennes mensuelles saisonnières et coefficient pluviométrique. 43

Tableau n° 4 : Indices pluviométriques mensuels et annuels (1969-1978)... 45

Tableau n° 5 : Précipitations et pourcentages saisonniers (1969-1978).... 46

Tableau n° 6 : Températures moyennes mensuelles et annuelles. Températures moyennes maxima et minima absolues de la région (1969-1978)..... 48

Tableau n° 7 : Evaporation moyenne mensuelle et humidité relative moyenne mensuelle (1969-1978)..... 50

Tableau n° 8 : Valeurs des précipitations calculées à partir de la carte des courbes isohyètes de la région étudiée (1969-1978)..... 52

Tableau n° 9 : Valeurs des évapotranspirations selon la méthode de Turc. 56

Tableau n° 10 : Valeurs des évapotranspirations calculées à partir des courbes des Er de la région de Puerto la Cruz-Cumana (1969-1978). 57

Tableau n° 11 : Bilan hydrologique à partir de la méthode de C.W.Thorthwaite 1957..... 61

Tableau n° 12 : Valeurs de ruissellement calculées à partir de la carte des courbes de ruissellement de la région Puerto la Cruz-

Cumana (1969-1978)..... 63

Tableau n° 13 : Valeurs des volumes d'eau mesurés aux stations hydrométriques (1969-1978) x 10^6 m^3/an 71

Tableau n° 14 : Calcul des coefficients de tarissement et des volumes des réserves à partir des données hydrométriques par la méthode de Maillet (1969-1978). 77

Tableau n° 15 : Calcul de la diffusivité hydraulique T/S par la méthode de Rorabaugh. 79

Tableau n° 16 : Caractéristiques hydrogéologiques des unités géologiques principales de la région Puerto la Cruz-Cumana ... 85

Tableau n° 17 : Analyses quantitatives réalisées sur plusieurs échantillons des roches..... 88

Tableau n° 18 : Résultats des traçages 104

Tableau n° 19 : Caractéristiques des puits existants. 114

Annexe n° 1 : Détermination de la perméabilité équivalente K par la méthode de Kiraly..... 167

Annexe n° 2 : Analyses physico-chimiques des eaux..... 179

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1 : Situation géographique de la région Puerto la Cruz-Cumana..... 4

Figure n° 2 : Cadre lithostratigraphique du Crétacé de l'Orient du Vénézuéla. 6

Figure n° 3 : Schema évolutif du système montagneux Nord- Oriental. 13

Figure n° 4 : Carte tectonique de la Sierra de l'Intérieur. 19

Figure n° 5 : Carte géologique de la région Puerto la Cruz-Cumana. .. 21

Figure n° 6 : Coupe géologique schématique (El Eneal-Iles de Monos).. 22

Figure n° 7 : Carte morphométrique de la densité du drainage. 27

Figure n° 8 : Analyse morphométrique pour la détermination des structures tectoniques. Carte des $II^{éme}$ et $III^{éme}$ ordres..... 31

Figure n° 9 : Analyse morphométrique pour la détermination des structures tectoniques. Carte des $III^{éme}$ et $IV^{éme}$ ordres..... 32

Figure n° 10 : Classification climatologique d'après Koeppen..... 36

Figure n° 11 : Classification climatologique d'après Thornthwaite..... 38

Figure n° 12 : Variations des précipitations de la région Puerto la Cruz-Cumana (1969-1978) 40

Figure n° 13 : Précipitations de la région Puerto la Cruz-Cumana (1969-1978). 44

Figure n° 14 : Températures moyennes mensuelles et annuelles. Températures moyennes maximum et minimum absolues de la région Puerto la Cruz-Cumana. 49

Figure n° 15 : Carte des isohyètes (1969-1978). 53

Figure n° 16 : Carte de l'évapotranspiration (1969-1978)..... 58

Figure n° 17 : Bilan hydrologique de la région Puerto La Cruz-Cumana.. 62
(1969-1978). 62

Figure n° 18 : Carte de ruissellement (1969-1978)..... 64

Figure n° 19 : Réseau hydrographique de la région Puerto la Cruz-Cumana. 65

Figure n° 20 : Bassins versants hydrographiques..... 67

Figure n° 21 : Hydrogrammes des rivières Neveri et Manzanares aux stations hydrométriques à Botalon, San Juan de Macarapana et Guaripa. 74- 76

Figure n° 22 : Carte hydogéologique de la région Puerto La Cruz-Cumana 84

Figure n° 23 : Emplacements des stations de lever de la fissuration.... 91

Figure n° 24 : Réprésentation graphique des orientations des subsystèmes de fissures par la méthode de Kiraly..... 92-95

Figure n° 25 : Situations des points d'injections et de prélèvements... 97

Figure n° 26 : Diagramme schématique de calcul des matrices de perméabilité équivalente K..... 105

Figure n° 27 : Conditions géologiques des pertes. 107

Figure n° 28 : Coupe schématique des forages; SP-Résistivité et rayon gamma 111-113

Figure n° 29 : Coupe schématique passant par les sondages. 116

Figure n° 30 : Qualités des eaux..... 120

Figure n° 31 : Représentation graphique des analyses de l'eau par formations..... 123-124

Figure n° 32 : Diagramme logarithmique d'après Schoeller. 127-128

Figure n° 33 : Carte du rapport caractéristique rMg/rCa. 133

Figure n° 34 : Carte de la minéralisation totale..... 135

Figure n° 35 : Classification des eaux d'irrigation. 139

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

AVANT - PROPOS

CHAPITRE 1

1- INTRODUCTION

1.1- OBJECTIF ET METHODE DE L'ETUDE 1
1.2- SITUATION DU VENEZUELA EN AMERIQUE 3
1.3- GEOGRAPHIE ET LIMITES DE LA REGION 3
1.4- RECHERCHES ANTERIEURES 3

CHAPITRE 2

2- GEOLOGIE DE LA REGION PUERTO LA CRUZ - CUMANA

2.1- GENERALITES 5
2.2- STRATIGRAPHIE 5
2.2.1- Ere secondaire 5
2.2.1.1- Crétacé. Conditions de sédimentation 5
2.2.1.1.1- Crétacé inférieur. Groupe Sucre 7
- Formation Barranquin 7
- Formation El Cantil..... 9
- Formation Chimana 9
2.2.1.1.2- Crétacé moyen. Groupe Guayuta ... 10
- Formation Querequal 10
- Formation San Antonio 11
2.2.1.1.3- Crétacé supérieur. Groupe Santa Anita 11
- Formation San Juan ;..... 11
2.2.2- Ere tertiaire. Conditions de sédimentation 12

2.2.2.1- Paléocène 14
2.2.2.1.1- Formation Vidoño 14
2.2.2.2- Eocène 14
2.2.2.2.1- Formation Caratas 14
2.2.3- Ere quaternaire 15
2.2.3.1- Les alluvions anciennes 15
2.2.3.2- Les alluvions récentes 15
2.3- TECTONIQUE 16
2.3.1- Structure générale de la Sierra de l'Intérieur..... 16
2.3.1.1- Les plis 17
2.3.1.2- Les failles 17
2.3.1.2.1- Failles longitudinales 18
2.3.1.2.2- Failles de décrochement 18
2.3.1.2.3- Failles normales 18

2.3.2- Structure de la région étudiée 18
2.4- CONCLUSIONS 23

CHAPITRE 3

3- GEOMORPHOLOGIE QUANTITATIVE

3.1- GENERALITES 25
3.2- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR LA DETERMINATION DE L'AIRE DE PERMEABILITE PRINCIPALE 25
3.3- ANALYSE MORPHOMETRIQUE POUR LA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES 28
3.4- ANALYSE DU RESEAU DE DRAINAGE 28
3.5- DETERMINATION DES STRUCTURES NEOTECTONIQUES 29
3.6- INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES MORPHOMETRIQUES POUR LA DETERMINATION DES STRUCTURES TECTONIQUES 30
3.7- CONCLUSIONS 33

CHAPITRE 4

4- HYDROCLIMATOLOGIE

4.1- CLIMATOLOGIE

4.1.1- Le climat 35
4.1.2- Classification climatologique régionale 35
4.1.2.1- Classification de Koeppen 35
4.1.2.2- Classification de Thornthwaite 35
4.1.3- Pluviométrie 37
4.1.4- Températures atmosphériques 41
4.1.5- Humidité, ensoleillement et vents..... 47
4.1.6- Calcul de la lame d'eau précipitée 47
4.1.6.1- Méthodes des isohyétes 47
4.1.6.2- Méthode de Thiessen 51
4.1.6.3- Méthode arithmétique 51
4.1.7- Evaporation 54
4.1.8- Evapotranspiration 54
4.1.8.1.1- Formule de L.Turc 54
4.1.8.1.2- Formule de Thornthwaite 55
4.1.9- Lame d'eau et volume ruissellés 60

4.2- HYDROLOGIE DE SURFACE

4.2.1- Généralités 60
4.2.2- Réseau hydrographique 60
4.2.3- Région de Barcelona 68
4.2.3.1- L'Aragua 68
4.2.3.2- Le Naricual 68
4.2.3.3- Le Colorado 68
4.2.3.4- Le Guayabo 68
4.2.4- Région de Cumana 68
4.2.4.1- Le Cancamure 69
4.2.4.2- Le Brito 69
4.2.5- Etude du tarissement pour l'estimation des ressources en eaux souterraines 70
4.2.6- Calcul de la diffusivité hydraulique T/S par la méthode de Roragaugh. 73
4.2.7- Bilan hydrologique 78
4.3- CONCLUSIONS 80

CHAPITRE 5

5- HYDROLOGIE

5.1- CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS 83
5.2- ROLE DE IA FRACTURATION 87
5.3- ROLE DE IA FISSURATION 87
5.4- DETERMINATION DE IA PERMEABILITE"EQUIVALENTE K"..... 89
5.5- UTILISATION DE L'ORDINATEUR 90
5.6- CONCLUSIONS..... 99

CHAPITRE 6

6- MISE EN EVIDENCE DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS PAR TRAÇAGES

6.1- GENERALITES 101
6.2- ESSAIS EXPERIMENTAUX 101
6.3- TRAÇAGES REALISES ANTERIEUREMENT A CETTE ETUDE 101
6.3.1- Traçage du 26 septembre 1979 101
6.4- LOCALISATIONS DES POINT D'INJECTION..... 102
6.4.1- Formation El Cantil 102
6.4.1.1- Essai n° 1 : Gouffre de los Altos 102
6.4.1.2- Essai n° 2 : Pertes d'eau 102
6.4.2- Formation Querequal 102
6.4.2.1- Essai n° 3 : Aven d'el Retumbo 102
6.5- LES PRELEVEMENTS..... 102
6.5.1- Formation El Cantil 103
6.5.1.1- Résultat n° 1 : Bas fond de Cogollar..... 103
6.5.1.2- Résultat n° 2 : Source de Conoma..... 103
6.5.2- Formation Querequal..... 103
6.5.2.1- Résultat n° 3.: Source d'el Retumbo..... 103
6.6- DISCUSSION..... 103
6.7- CONDITIONS GEOLOGIQUES QUI DETERMINENT LES PERTES 106
6.8- CONCLUSIONS 106

CHAPITRE 7

7- LES SONDAGES DE RECONNAISSANCE SUR LES CALCAIRES MESURES ET ESTIMATIONS

7.1- LES SONDAGES D'EXPLORATION DANS LES CALCAIRES DE LA FORMATION EL CANTIL 109

7.2- MESURES GEOPHYSIQUES. IDENTIFICATION DES UNITES STRATIGRAPHIQUES 109

7.3- MESURES ET ESTIMATIONS 110

7.3.1- Cractéristiques de l'aquifère de la formation El Cantil 114

7.3.1.1- Calcul du gradient hydraulique 114

7.3.1.2- Calcul de la transmissivité 115

7.3.1.3- Calcul du flux 115

7.3.2- Détermination de la porosité utile par la méthode d'Archie 116

7.4- CONCLUSIONS 118

CHAPITRE 8

8- HYDROGEOCHIMIE

8.1- GENERALITES 119

8.2- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES 119

8.2.1- Le débit 119

8.2.2- Conductivité 121

8.2.3- Température 121

8.2.4- pH 122

8.3- CARACTERES CHIMIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU 122

8.3.1- Le calcium 122

8.3.2- Le magnésium 122

8.3.3- Le sodium et le potassium 125

8.3.4- Les bicarbonates 125

8.3.5- Les sulfates 125

8.3.6- Les chlorures 125

8.3.7- La silice 126

8.3.8- La dureté 126

8.4- CLASSIFICATION CHIMIQUE ET REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES 129

8.4.1- Les eaux bicarbonatées 129

8.4.1.1- Famille des eaux bicarbonatées calciques 129

8.4.1.2- Famille des eaux bicarbonatées sodiques 129

8.4.1.3- Famille des eaux bicarbonatées magnésiennes 130

8.4.2- Les eaux sulfatées 130

8.4.2.1- Famille des eaux sulfatées calciques 130

8.4.2.2- Famille des eaux sulfatées magnésiennes 130

8.4.3- Les eaux chlorurées 131

8.4.3.1- Famille des eaux chlorurées sodiques 131

8.4.3.2- Famille des eaux chlorurées magnésiennes 131

8.4.3.3- Famille des eaux chlorurées calciques 131

8.5- CARTE DE DISTRIBUTION DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES rMg/rCa 131

8.6- MINERALISATION TOTALE 134

8.7- DEPOTS DE CALCAIRE 134

8.8- SOURCES THERMOMINERALES. GEOTHERMOMETRE Na-K-Ca 136

8.9- CLASSIFICATION DES EAUX POUR L'IRRIGATION 137

8.9.1 CONCLUSIONS 138

CHAPITRE 9

9- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

9.1- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS 141

9.2- CONCLUSIONS GENERALES 143

9.3- RECOMMANDATIONS 143

BIBLIOGRAPHIE 147

LISTE DES TABLEAUX 155

LISTE DES FIGURES 157

TABLE DES MATIERES 160

ANNEXES 167

ANNEXES

ANNEXES

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

Annexe nº I

INDICE
******

IDENTIFICATION	FORMATION	DIRECTION STRATES	<== DIRECTION FISSURES		==>	PERMEABILITE	PAG.
POINT 22	CALCAIRE(KG)	N 20E	N 50E	N 80W		0.156E-02	1
POINT 112	CALCAIRE(KG)	N 80E	N 30E	N 65W		0.516E-05	2
POINT 157	CALCAIRE(KG)	N 20E	N 10E	N 70W		0.235E-04	3
POINT 168	CALCAIRE(KG)	N 85E	N 37E	N 55W	N 6CW	0.145E-03	4
POINT 71	CALCAIRE(KG)	N 55W	N 55E	N 30E	N 90E	0.604E-04	5
POINT 85	CALCAIRE(KG)	N 72W	N 29E	N 80W		0.896E-04	6
POINT 161	CALCAIRE(KG)	N 75E	N 15E	N 64W		0.731E-02	7
POINT 25	CALCAIRE(KG)	N 74W	N 59E	N 39W		0.463E-04	8
POINT 66	CALCAIRE(KG)	N 70W	N 32E	N 23E		0.662E-04	9
POINT 6	CALCAIRE(KG)	N 70E	N 12W	N 85E		0.957E-04	10
POINT 221	CALCAIRE(KEC)	N 10E	N 21E	N 49W		0.184E-04	11
POINT 222	CALCAIRE(KEC)	N 3E	N 31W	N 18E		0.677E-04	12
POINT 233	CALCAIRE(KEC)	N 35W	N 60W	N 40E		0.116E-01	13
POINT 238	CALCAIRE(KEC)	N 55W	N 71E	N 10W		0.855E-03	14
POINT 19	CALCAIRE(KEC)	N 80E	N 80E	N 60W		0.109E-02	15
POINT 109	CALCAIRE(KEC)	N 70W	N 65W	N 30E		0.138E-01	16
POINT 110	GRES(KBA)	N 30W	N 60W	N 20W		0.578E-05	17
POINT 26	GRES(KBA)	N 65E	N 0E	N 70E		0.124E-05	18
POINT 30	GRES(KBA)	N 60W	N 45E	N 40W		0.563E-05	19
POINT 34	GRES(KBA)	N 75E	N 30W	N 55E		0.377E-05	20
POINT 41	GRES(KBA)	N 90W	N 15W	N 0E		0.135E-05	21
POINT 159	GRES(KBA)	N 70E	N 0E	N 85E		0.758E-06	22
POINT 165	GRES(KBA)	N 30E	N 65W	N 25E		0.264E-04	23
POINT 217.9	GRES(KBA)	N 55E	N 10W	N 70E		0.474E-05	24
POINT 1	GRES(KBA)	N 70W	N 30E	N 30W		0.103E-04	25
POINT 6-A	GRES(KBA)	N 65W	N 30E	N 30W		0.727E-04	26
POINT 8.24	GRES(KBA)	N 70W	N 20E	N 40E		0.320E-07	27
POINT 9	GRES(KBA)	N 65W	N 20E	N 0E		0.205E-07	28
POINT 217-17	GRES(KBA)	N 60E	N 10W	N 50E		0.944E-05	29
POINT 178	GRES(KCH)	N 60E	N 70W	N 20E		0.509E-06	30
POINT 175	GRES(KCH)	N 65E	N 20W	N 50E		0.157E-05	31
POINT 196	GRES(KCH)	N 75W	N 25E	N 85W		0.899E-06	32
POINT 134	CALCAIRE(KCH)	N 12W	N 33E	N 60W		0.508E-05	33
POINT 115	GRES(TEC)	N 55W	N 55E	N 30W		0.631E-07	34
POINT 97	GRES(TEC)	N 50W	N 34E	N 70W	N 28E	0.609E-06	35
POINT 104	GRES(TEC)	N 22W	N 40E	N 60W		0.195E-08	36
POINT 137	GRES(KTPV)	N 19E	N 55E	N 25W		0.331E 00	37
POINT 156	GRES(KTPV)	N 15W	N 75E	N 39E		0.458E-07	38
POINT 87	ARGILE(KTPV)	N 50W	N 10W	N 60E		0.281E-08	39
POINT 126	CALCAIRE(KSA)	N 42W	N 32E	N 80W		0.378E-04	40

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 22 — CALCAIRE(KG)

DIRECTION DES STRATES: N 20 E

PENDAGES DES COUCHES: 30S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 50 E	0.070	0.300	0.8660	0.5000
2	N 80 W	0.060	0.250	0.1736	0.9848

A(1)*10-3=

0.250	-0.433	0.0	I
-0.433	0.750	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(1)*10-3=

0.382	-0.662	0.0	I
-0.662	1.147	0.0	I
0.0	0.0	1.530	I

A(2)*10-3=

0.970	-0.171	0.0	I
-0.171	0.030	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(2)*10-3=

0.736	-0.130	0.0	I
-0.130	0.023	0.0	I
0.0	0.0	0.759	I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

1.118	-0.792	0.0	I
-0.792	1.170	0.0	I
0.0	0.0	2.289	I

PERMEABILITE: 0.1559E-02

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 25 — CALCAIRE(KG)

DIRECTION DES STRATES: N 74 W

PENDAGES DES COUCHES: 19S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 59 E	0.020	0.250	-0.6820	0.7314
2	N 39 W	0.050	0.200	-0.8192	-0.5736

A(1)*10-3=

0.535	+0.499	0.0	I
+0.499	0.465	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(1)*10-3=

0.135	+0.126	0.0	I
+0.126	0.118	0.0	I
0.0	0.0	0.253	I

A(2)*10-3=

0.329	-0.470	0.0	I
-0.470	0.671	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(2)*10-3=

0.107	-0.152	0.0	I
-0.152	0.217	0.0	I
0.0	0.0	0.324	I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

0.242	-0.026	0.0	I
-0.026	0.335	0.0	I
0.0	0.0	0.577	I

PERMEABILITE: 0.4631E-04

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 19 CALCAIRE(KEC)

DIRECTION DES STRATES: N 80 E

PENDAGES DES COUCHES: 10S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 80 E	0.080	C.300	1.COCO	0.0
2	N 60 W	0.050	C.250	0.7660	0.6428

A(1)*10-3=

0.0	-0.0	0.0	I
-0.0	1.000	0.C	I
0.0	0.0	1.000	I

K(1)*10-3=

0.0	-0.0	0.0	I
-0.0	1.748	0.0	I
0.0	0.0	1.748	I

A(2)*10-3=

0.413	-0.492	0.0	I
-0.492	0.587	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(2)*10-3=

0.261	-0.311	0.0	I
-0.311	0.371	0.0	I
0.0	0.0	0.632	I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

0.261	-0.311	C.0 I
-0.311	2.119	C.C I
0.0	0.0	2.381 I

PERMEABILITE: 0.1087E-02

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 109 CALCAIRE(KEC)

DIRECTION DES STRATES: N 70 W

PENDAGES DES COUCHES: 25N

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 65 W	0.080	C.300	-0.9962	-0.0872
2	N 30 E	0.060	C.350	-0.1736	0.9848

A(1)*10-3=

0.008	-0.087	0.0	I
-0.087	0.992	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(1)*10-3=

0.013	-0.152	0.0	I
-0.152	1.735	0.0	I
0.0	0.0	1.748	I

A(2)*10-3=

0.970	+0.171	0.0	I
+0.171	0.030	0.0	I
0.0	0.0	1.000	I

K(2)*10-3=

2.019	+0.356	0.0	I
+0.356	0.063	0.0	I
0.0	0.0	2.082	I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

2.033	+0.204	C.0 I
+0.204	1.798	C.0 I
0.0	0.0	3.831 I

PERMEABILITE: 0.1384E-01

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)
****

POINT 30 GRES(KBA)

DIRECTION DES STRATES: N 60 W

PENDAGES DES COUCHES: 40S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 45 E	0.060	C.150	-0.2588	0.9659
2	N 40 W	0.150	C.100	-0.9397	-0.3420

A(1)*10-3=

0.933	+0.250	0.0
+0.250	0.067	0.0
0.0	0.0	1.000

K(1)*10-3=

0.153	+0.041	0.0
+0.041	0.011	0.0
0.0	0.0	0.164

A(2)*10-3=

0.117	-0.321	0.0
-0.321	0.883	0.0
0.0	0.0	1.000

K(2)*10-3=

0.014	-0.039	0.0
-0.039	0.107	0.0
0.0	0.0	0.121

MATRICE PERMEABILITE K*10-3
****

0.167	+0.002	C.0
+0.002	0.118	C.0
0.0	0.0	C.285

PERMEABILITE: 0.5635E-05
****

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)
****

POINT 34 GRES(KBA)

DIRECTION DES STRATES: N 75 E

PENDAGES DES COUCHES: 20S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 30 W	0.080	C.120	0.2588	0.9659
2	N 55 E	0.050	C.150	0.9397	-0.3420

A(1)*10-3=

0.933	-0.250	0.0
-0.250	0.067	0.0
0.0	0.0	1.000

K(1)*10-3=

0.104	-0.028	0.0
-0.028	0.007	0.0
0.0	0.0	0.112

A(2)*10-3=

0.117	+0.321	0.0
+0.321	0.883	0.0
0.0	0.0	1.000

K(2)*10-3=

0.016	+0.044	0.0
+0.044	0.121	0.0
0.0	0.0	0.137

MATRICE PERMEABILITE K*10-3
****

0.120	+0.016	C.0
+0.016	0.128	C.0
0.0	0.0	C.248

PERMEABILITE: 0.3769E-05
****

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 126 — CALCAIRE(KSA)

DIRECTION DES STRATES: N 42 W

PENDAGES DES COUCHES: 36S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 32 E	0.030	C.200	0.2756	0.9613
2	N 80 W	0.060	C.200	-0.7880	0.6157

A(1)*10-3=

I	0.924	−0.265	0.0 I
I	−0.265	0.076	0.0 I
I	0.0	0.0	1.000I

K(1)*10-3=

I	0.179	-0.051	0.0 I
I	−0.051	0.015	0.0 I
I	0.0	0.0	0.194I

A(2)*10-3=

I	0.379	+0.485	0.0 I
I	+0.485	0.621	0.0 I
I	0.0	0.0	1.000I

K(2)*10-3=

I	0.147	+0.188	0.0 I
I	+0.188	0.241	0.0 I
I	0.0	0.0	0.389I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

I	0.327	+0.137	C.0 I
I	+0.137	0.256	0.0 I
I	0.0	0.0	C.583I

PERMEABILITE: 0.3781E-04

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)

POINT 175 — GRES(KCH)

DIRECTION DES STRATES: N 65 E

PENDAGES DES COUCHES: 35S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 20 W	0.140	C.100	-0.C872	0.9962
2	N 50 E	0.100	C.100	0.9659	-0.2588

A(1)*10-3=

I	0.992	+0.C87	0.C I
I	+0.087	0.C08	0.C I
I	0.0	0.0	1.000I

K(1)*10-3=

I	0.112	+0.010	0.0 I
I	+0.010	0.001	0.0 I
I	0.0	0.0	0.113I

A(2)*10-3=

I	0.067	+0.250	C.0 I
I	+0.250	0.933	0.C I
I	0.0	0.0	1.000I

K(2)*10-3=

I	0.005	+0.020	0.0 I
I	+0.020	0.076	0.0 I
I	0.0	0.0	0.081I

MATRICE PERMEABILITE K*10-3

I	0.118	+0.030	C.0 I
I	+0.030	0.076	C.0 I
I	0.0	0.0	C.194I

PERMEABILITE: 0.1573E-05

DETEPMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)
****

POINT 196 GRES(KCH)

DIRECTION DES STRATES: N 75 W

PENDAGES DES COUCHES: 35S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 25 E	0.120	C.100	-0.1736	0.9848
2	N 85 W	0.080	C.100	-0.9848	0.1736

A(1)*10-3=

I	0.970	+0.171	0.0 I
I +0.171	0.030	0.0 I	
I 0.0	0.0	1.000I	

K(1)*10-3=

I	0.094	+0.017	0.0 I
I +0.017	0.003	0.0 I	
I 0.0	0.0	0.097I	

A(2)*10-3=

I	0.030	+0.171	0.0 I
I +0.171	0.970	0.0 I	
I 0.0	0.0	1.000I	

K(2)*10-3=

I	0.002	+0.011	0.0 I
I +0.011	0.063	0.0 I	
I 0.0	0.0	0.065I	

MATRICE PERMEABILITE K*10-3
****

I 0.096	+0.028	C.0 I
I +0.028	0.066	C.0 I
I 0.0	0.0	C.162I

PERMEABILITE: 0.899CE-06
****

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)
****

POINT 97 GRES(TEC)

DIRECTION DES STRATES: N 50 W

PENDAGES DES COUCHES: 56S

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 34 E	0.070	C.100	0.1045	0.9945
2	N 70 W	0.020	C.150	-0.9397	0.3420
3	N 28 E	0.010	C.150	0.2079	0.9781

A(1)*10-3=

I	0.989	-0.104	0.0 I
I -0.104	0.011	0.0 I	
I 0.0	0.0	1.000I	

K(1)*10-3=

I	0.056	-0.006	0.0 I
I -0.006	0.001	0.0 I	
I 0.0	0.0	0.057I	

A(2)*10-3=

I	0.117	+0.321	0.0 I
I +0.321	0.883	0.0 I	
I 0.0	0.0	1.000I	

K(2)*10-3=

I	0.006	+0.018	0.0 I
I +0.018	0.048	0.0 I	
I 0.0	0.0	0.055I	

A(3)*10-3=

I	0.957	-0.203	0.0 I
I -0.203	0.043	0.0 I	
I 0.0	0.0	1.000I	

K(3)*10-3=

I	0.026	-0.006	0.0 I
I -0.006	0.001	0.0 I	
I 0.0	0.0	0.027I	

MATPICE PERMEABILITE K*10-3
****

I 0.089	+0.006	C.0 I
I +0.006	0.050	C.0 I
I 0.0	0.0	C.139I

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE EQUIVALENTE(K)
(METHODE DE KIRALY)
****

POINT 87 ARGILE(KTPV)

DIRECTION DES STRATES: N 90 W

PENDAGES DES COUCHES: 53N

	DIRECTION FISSURES	FREQUENCES (F)	OUVERTURE (D)	NORMALES (N)	
1	N 10 W	0.020	C.100	-0.1736	-0.9848
2	N 60 E	0.010	C.100	-0.8660	0.5000

A(1)*10-3=

0.970	-0.171	0.0
-0.171	0.030	0.0
0.0	0.0	1.000

K(1)*10-3=

0.016	-0.003	0.0
-0.003	0.000	0.0
0.0	0.0	0.016

A(2)*10-3=

0.250	+0.433	0.0
+0.433	0.750	0.0
0.0	0.0	1.000

K(2)*10-3=

0.002	+0.004	0.0
+0.004	0.006	0.0
0.0	0.0	0.008

MATRICE PERMEABILITE K*10-3
****

0.018	+0.001	C.0
+0.001	0.007	C.0
0.0	0.0	C.024

PERMEABILITE: C.28095E-08
****

ANALYSES DES DIVERS ELEMENTS DE LA REGION ETUDIEE EN ppm (1980) ANNEXE N° 2

FORMATION	No ECHANTI.	TEMP. °C	SIO_2	FE	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	SO_4	CL	F	NO_3	TSD	TAC	P	COND	PH	RAS (meq)
	R - 454	24	10.0	1.4	-	28.0	7.0	30.0	0.4	113.5	11.4	67.5	22.3	-	2.3	814.0	203.0	-104.0	634	7.4	0.66
	S.sf- 28	22	10.0	0.1	-	2.3	1.3	2.8	0.8	28.1	-	1.5	18.0	-	0.1	54.0	6.0	5.0	53	5.7	0.36
ALLUVION	S.sf- 29	26	15.0	2.0	-	18.0	6.2	0.9	0.0	119.0	-	1.3	8.0	-	0.2	134.0	77.0	-6.2	167	7.3	0.05
(Qal)	S.sf- 41	24	15.0	0.7	-	6.8	1.5	0.9	0.0	45.8	-	0.1	11.0	-	0.2	52.0	24.3	-0.9	56	6.3	0.08
	S.sf- 44	26	15.0	0.4	-	8.4	7.5	0.5	0.0	53.7	-	0.1	8.0	-	0.2	32.0	31.3	20.9	20	6.8	0.03
	R - 052A	24	10.0	0.7	-	52.0	2.2	2.8	0.4	112.2	-	30.0	2.3	-	0.5	224.0	91.0	48.2	304	7.1	0.10
	R - 054	23	4.0	3.0	-	33.8	10.0	16.0	0.3	51.9	-	22.0	6.3	-	0.3	182.0	79.0	47.0	258	7.1	0.60
	S - 055	25	10.0	1.6	-	37.3	25.0	2.8	0.7	16.5	4.8	40.0	3.8	-	0.2	230.0	152.0	45.2	363	7.6	0.10
	S - 056	23	8.0	1.6	-	36.0	19.5	16.0	0.8	46.4	-	87.5	10.9	-	0.1	248.0	96.0	75.2	376	7.1	5.30
	S - 071	24	10.0	1.2	-	67.2	2.0	6.0	0.4	20.1	-	55.0	7.5	-	1.15	382.0	162.0	15.2	482	6.9	0.20
	S - 072	24	15.0	0.05	-	42.4	4.8	11.0	2.4	97.6	-	130.0	18.4	-	0.9	530.0	167.0	-41.0	718	6.8	0.40
	S - 078	19	10.0	1.0	-	52.0	1.2	7.8	0.8	156.8	-	12.2	15.0	-	0.0	308.0	91.0	87.4	414	6.8	0.30
GROUPE	S - 079	22	6.0	0.4	-	18.0	1.3	5.1	1.2	85.4	-	4.6	6.8	-	2.4	54.0	40.0	9.2	128	6.7	0.30
GUAYUTA	S - 080	22	6.0	0.6	-	7.0	2.0	3.7	0.0	42.1	-	0.5	7.3	-	0.2	320.0	9.0	15.4	448	6.7	0.30
(Kg)	S - 093	22	8.0	0.9	-	106.4	12.0	2.8	0.4	147.7	-	14.0	1.3	-	0.5	405.0	156.0	159.0	583	7.1	0.10
	S - 095	21	10.0	0.8	-	78.4	9.0	2.8	0.4	81.8	11.4	16.0	78.4	-	0.9	512.0	186.0	46.0	731	7.2	0.10
	R - 097	22	15.0	0.0	-	123.2	8.0	1.8	0.0	402.7	9.3	21.0	0.2	-	0.6	412.0	347.0	-6.2	684	7.3	0.00
	S - 099	23	15.0	0.3	-	42.0	8.0	7.8	2.0	195.3	-	90.0	5.3	-	0.7	738.0	104.0	33.2	1058	6.8	0.20
	R - 101	22	15.0	0.7	-	68.0	0.2	2.7	1.0	168.4	-	13.5	2.1	-	0.0	256.0	206.0	-36.0	465	7.1	0.10
	R - 102	24	15.0	2.2	-	58.4	7.5	2.8	0.0	81.4	-	24.5	3.6	-	0.6	319.0	222.0	-45.0	499	5.1	0.10
	S - 103	23	15.0	2.2	-	33.2	35.1	2.8	0.01	269.7	-	23.0	3.3	-	0.8	352.0	177.0	52.2	465	7.9	0.10
	S - 067	23	15.0	0.7	-	74.0	7.4	48.0	0.0	100.1	-	24.5	3.2	-	0.6	234.0	185.0	31.0	490	6.8	1.00
	S - 111	26	15.0	0.95	-	68.8	101.0	55.2	0.03	491.8	-	75.0	196.5	-	1.2	114.0	226.0	195.2	130	7.3	1.00
	S - 116	24	15.0	2.5	-	108.0	12.0	47.0	0.8	231.9	-	90.0	132.3	-	0.6	734.0	120.0	200.0	1014	6.9	1.20
	S - 424	25	4.0	2.4	-	31.2	34.2	12.0	0.8	86.0	-	35.0	5.4	-	0.3	372.0	159.0	61.4	490	6.8	0.35
	S - 435A	23	6.0	1.2	-	40.0	46.4	20.0	0.8	34.2	-	2.5	26.3	-	0.3	626.0	135.0	58.0	710	6.9	0.51
	S - 439	24	20.0	2.4	-	64.0	7.2	15.7	9.0	89.7	-	85.0	9.8	-	0.9	280.0	63.0	12.7	418	7.1	0.49
	P.e - 441	24	15.0	1.5	-	64.0	5.8	17.0	0.4	89.7	-	45.0	7.8	-	0.1	252.0	81.0	0.0	372	7.2	0.54
	P.e - 483	18	15.0	1.6	-	53.0	15.7	6.0	1.6	-	-	34.0	7.0	-	3.6	296.0	132.0	65.2	439	7.2	0.18
	P.e - 499	23	15.0	7.4	-	72.0	31.2	13.3	23.1	445.4	11.4	30.0	2.3	-	0.0	115.0	240.0	70.0	122	7.0	0.33
	P - 528	23	4.0	0.7	-	95.0	0.0	6.0	3.5	274.0	0.0	12.2	8.3	-	1.1	364.0	157.0	81.4	592	6.8	0.16
	P.e - 540	25	15.0	0.3	-	19.4	22.7	12.0	7.8	155.6	-	28.0	7.6	-	0.2	416.0	228.0	-85.0	551	7.0	0.43

FORMATION	No ECHANTI.	TEMP. oC	SIO_2	FE	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO3	SO_4	CL	F	NO_3	TSD	TAC	P	COND	PH	RAS (meq)
	S - 311	24	10.0	2.8	-	37.0	23.0	3.7	0.4	105.6	-	34.0	1.8	-	0.6	301.0	141.0	39.4	423	6.9	0.67
	S - 319	26	10.0	0.05	-	32.8	15.8	0.1	0.0	142.8	-	10.0	3.3	-	0.1	316.0	140.0	-	418	7.9	0.10
	R - 626	25	4.0	2.1	-	28.0	21.4	22.0	0.4	120.8	-	24.5	3.0	-	0.01	278.0	147.0	12.2	346	7.0	0.77
	R - 629	25	8.0	2.6	-	39.4	20.0	16.0	0.3	136.1	3.0	17.0	2.4	-	0.6	288.0	47.0	134.2	448	7.2	0.52
	S - 634	22	15.0	1.1	-	37.2	12.2	1.8	0.0	117.2	-	15.0	1.8	-	1.3	106.0	10.3	133.7	247	6.9	0.08
	R - 642	23	8.0	2.0	-	49.2	9.0	2.8	0.3	114.7	11.4	17.0	2.9	-	1.4	320.0	144.0	15.0	338	7.1	0.09
	S - 645	24	10.0	1.3	-	48.8	0.5	0.9	0.6	109.2	11.4	17.5	1.4	-	0.2	240.0	105.0	19.0	262	7.1	0.04
	S.sf- 1	24	10.0	0.5	-	72.0	4.3	0.92	0.0	166.0	-	17.5	2.4	-	0.2	348.0	100.0	98.0	567	7.8	0.03
	S.sf- 2	24	10.0	0.1	-	28.0	16.5	0.9	0.0	140.3	-	20.0	4.2	-	0.6	246.0	202.0	-63.0	346	7.5	0.03
	S.sf- 3	24	10.0	0.6	-	46.4	8.4	0.5	0.0	177.0	-	21.0	5.5	-	0.9	210.0	186.0	-35.0	305	7.6	0.02
	S.sf- 4	24	10.0	0.4	-	57.8	14.5	0.5	0.0	173.3	-	17.5	4.1	-	0.8	266.0	171.0	-15.0	360	7.6	0.01
	S.sf- 5	23	10.0	0.4	-	53.2	3.6	0.5	0.0	190.4	-	21.0	4.0	-	0.12	230.0	171.0	-23.0	265	7.5	0.02
	S.sf- 6	25	10.0	0.15	-	44.9	7.4	0.5	0.0	183.1	-	11.0	5.1	-	0.1	223.0	175.0	-32.0	304	7.6	0.02
	S.sf- 7	23	10.0	0.35	-	86.4	2.9	0.5	0.0	205.0	-	22.0	3.3	-	0.12	303.0	192.0	36.0	465	7.9	0.01
	R.sf- 8	23.5	10.0	0.6	-	61.0	3.7	0.5	0.0	117.6	-	20.0	3.5	-	0.9	210.0	139.0	28.4	305	7.6	0.02
	R.sf- 9	23	10.0	1.0	-	80.0	6.0	0.5	0.0	175.7	-	20.0	3.5	-	0.5	276.0	193.0	32.0	385	7.9	0.01
GROUPE	R.sf- 10	23.5	15.0	0.1	-	84.5	2.3	0.5	0.0	214.8	-	17.0	7.5	-	0.1	310.0	258.6	-37.6	470	7.6	0.01
GUAYUTA	R.sf- 11	25	10.0	0.2	-	64.1	2.6	0.5	0.0	186.2	-	16.0	3.7	-	0.95	276.0	175.0	4.0	356	7.7	0.02
(Kg)	S.sf- 12	23	10.0	0.6	-	71.3	5.0	0.5	0.0	393.6	72.0	13.5	3.9	-	0.8	250.0	192.0	7.0	381	8.0	0.02
	S.sf- 13	23	15.0	0.3	-	79.2	3.1	0.5	0.0	153.8	-	19.3	6.5	-	1.5	276.0	212.3	-1.3	405	7.7	0.01
	R.sf- 14	22	10.0	0.2	-	69.0	6.0	0.5	0.0	460.1	66.0	1.8	3.2	-	0.1	240.0	160.0	37.0	324	8.0	0.02
	S.sf- 15	25	10.0	0.3	-	56.9	1.9	0.5	0.0	189.2	16.8	11.2	3.8	-	0.1	326.0	112.0	38.0	264	7.6	0.02
	S.sf- 16	24	10.0	1.4	-	5.2	3.4	2.0	0.0	43.9	-	3.0	4.1	-	0.6	338.0	17.0	0.0	27.	6.8	0.17
	S.sf- 17	24	10.0	0.25	-	46.5	10.5	0.5	0.0	162.3	-	17.5	3.7	-	0.1	165.0	175.0	-15.0	260	7.2	0.02
	S.sf- 18	24	8.0	0.74	-	43.2	9.0	0.5	0.4	112.3	-	14.0	4.0	-	0.1	246.0	142.0	4.0	316	7.1	0.02
	S.sf- 19	23.5	10.0	0.25	-	65.4	4.5	0.5	0.0	181.2	-	19.3	2.5	-	0.2	338.0	240.0	-57.0	386	7.6	0.01
	S - 061	24	10.0	1.0	-	47.2	23.0	5.1	1.6	97.0	-	138.0	5.9	-	0.7	478.0	95.0	119.0	444	7.2	0.10
CHIMANA	S - 066	22	10.0	1.6	-	53.2	53.3	12.0	1.2	64.7	-	265.0	6.0	-	0.8	566.0	175.0	180.0	786	6.9	0.20
(Kchl)	S - 076	19	10.0	0.1	-	41.0	6.0	6.0	0.8	140.3	-	19.0	10.8	-	0.8	230.0	82.0	43.6	279	7.1	0.20
	S - 077	19	6.0	1.0	-	24.3	4.0	7.8	0.8	53.7	-	45.7	12.3	-	0.7	200.0	10.0	67.6	206	6.5	0.40
	S - 100	23	10.0	0.3	-	71.0	19.3	4.0	0.8	311.7	-	105.0	4.7	-	0.7	410.0	177.0	80.2	541	6.8	0.10

FORMATION	No ECHANTI.	TEMP. oC	SIO_2	FE	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO3	SO_4	CL	F	NO_3	TSD	TAC	P	COND	PH	RAS (meq)
	S - 132	24	8.0	0.4	-	66.8	5.3	2.8	0.0	24.4	-	10.5	3.3	-	1.0	334.0	79.0	110.2	423	7.0	0.10
	R - 414A	24	2.0	0.1	-	31.2	19.4	1.8	1.6	61.0	-	20.0	5.0	-	-	194.0	69.0	90.0	257	6.9	0.10
	R - 234	23	15.0	1.5	-	34.0	3.2	11.3	1.6	112.3	9.3	20.0	2.7	-	0.4	340.0	77.0	20.2	220	7.4	2.70
	R - 245	22	10.0	1.4	-	68.8	0.3	8.0	-	152.6	-	17.5	2.0	-	0.5	300.0	196.0	-23.2	431	6.8	1.40
	S - 263B	22	8.0	0.2	-	48.8	10.7	2.8	0.01	288.0	-	27.0	4.3	-	0.2	249.0	81.0	45.4	334	7.1	0.50
	R - 265	26	10.0	0.2	-	46.0	15.2	5.0	0.8	146.4	-	6.2	2.1	-	0.8	188.0	114.0	61.8	368	6.9	0.90
CHIMANA	S - 269	27	10.0	0.2	-	43.2	17.6	2.8	0.01	63.5	6.9	20.0	1.5	-	0.2	239.0	121.0	60.2	330	7.2	0.70
(Kchl)	S - 270	27	15.0	1.5	-	41.0	15.0	3.7	0.4	133.6	12.0	2.2	1.6	-	0.8	243.0	131.0	33.0	334	7.2	0.70
	S - 301	24	10.0	1.5	-	36.0	17.5	0.9	0.0	18.9	-	18.5	2.3	-	1.1	250.0	161.0	2.2	359	7.0	0.20
	S - 302	27	8.0	2.4	-	26.4	19.5	1.8	0.4	111.1	-	15.0	1.8	-	1.6	286.0	80.2	67.0	456	7.0	0.10
	R - 307	27	10.0	0.3	-	33.6	14.6	1.8	0.4	112.3	-	20.0	1.7	-	0.6	318.0	176.0	-31.0	456	7.0	0.40
	S - 308	26	8.0	0.6	-	45.6	3.2	0.3	0.8	156.8	-	9.5	3.0	-	0.3	202.0	98.0	29.2	262	6.7	0.60
	S - 309	26	10.0	1.8	-	32.8	19.7	2.8	0.4	99.5	-	29.2	2.8	-	0.8	325.0	158.0	6.0	423	7.1	0.50
	S - 692	23	10.0	0.02	-	30.0	19.3	0.9	0.0	113.5	-	17.5	30.0	-	0.6	298.0	163.0	-8.6	418	6.9	0.03
	S - 704	24	10.0	1.0	-	18.4	7.5	2.8	0.01	6.1	65.7	18.0	6.1	-	0.7	106.0	19.0	58.2	120	6.7	0.10
	R - 715	25	10.0	3.6	-	43.6	2.9	0.9	0.0	93.4	-	18.5	2.5	-	1.1	326.0	81.2	40.0	205	6.9	0.04
	S - 413	23	4.0	2.3	-	36.0	32.5	22.0	0.9	32.9	-	85.0	15.4	-	0.7	404.0	171.0	54.2	550	6.7	0.60
	R - 023	23	6.0	0.2	-	61.0	7.0	21.0	2.3	20.7	-	12.0	10.0	-	0.1	352.0	229.3	-49.3	515	6.9	0.70
	S - 024	23	6.0	0.3	-	39.0	8.0	25.3	2.3	43.9	-	23.0	18.0	-	0.2	642.0	228.0	-23.6	515	6.7	0.70
	S - 081	23	10.0	0.6	-	45.0	11.0	3.7	4.3	140.3	-	10.0	4.8	-	1.3	223.0	98.0	58.0	279	7.2	0.10
	S - 228	21	6.0	2.6	-	3.0	7.3	4.2	0.6	146.4	-	1.2	8.3	-	0.1	62.0	12.0	5.4	38	6.8	1.10
	S - 229	23	6.0	1.3	-	26.4	4.6	9.0	0.4	12.2	-	4.7	14.6	-	0.8	136.0	70.0	15.2	146	7.0	2.70
	S - 230	23	8.0	1.6	-	19.0	4.8	7.2	0.6	152.6	-	5.0	3.9	-	0.1	100.0	39.2	27.8	113	6.8	2.30
	S - 241	24	15.0	1.2	-	20.8	9.0	14.0	1.2	69.6	-	12.0	6.0	-	1.2	92.0	49.0	40.2	90	6.8	1.60
	S - 249	21	10.0	1.3	-	50.0	10.0	10.0	-	109.8	-	12.5	2.0	-	1.2	260.0	147.0	40.2	334	6.8	1.90
EL CANTIL	S - 250	21	20.0	1.4	-	15.2	3.0	12.0	-	85.4	-	7.0	2.3	-	1.0	78.0	43.0	7.0	108	6.7	1.40
(Kec)	S - 253	22	10.0	1.6	-	12.0	1.2	0.9	1.2	97.6	-	5.2	3.5	-	1.7	77.0	27.0	7.0	90	6.7	0.40
	S - 684	26	15.0	2.2	-	58.0	9.7	2.8	0.4	154.4	-	22.0	1.8	-	1.2	270.0	137.0	48.2	418	7.2	0.09
	S - 687	24	10.0	0.5	-	54.8	6.6	1.8	0.4	126.3	-	16.0	3.3	-	0.9	256.0	127.0	37.4	330	7.0	0.06
	S - 707	24	10.0	0.3	-	44.0	8.5	2.8	-	217.8	-	15.0	3.8	-	0.8	342.0	91.0	54.2	262	6.7	0.10
	S - 708	24	8.0	1.2	-	8.8	1.0	0.5	-	32.9	-	1.0	2.8	-	0.8	34.0	10.5	15.9	24	6.0	0.04

FORMATION	No ECHANTI.	TEMP. °C	SIO_2	FE	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	SO_4	CL	F	NO_3	TSD	TAC	P	COND	PH	RAS (meq)
	S - 069	21	10.0	1.3	-	24.0	5.3	2.8	0.8	81.8	11.4	4.9	2.3	-	0.6	422.0	56.0	16.0	147	6.9	0.10
	R - 410	29	4.0	0.02	-	49.2	6.0	9.2	1.6	38.4	-	24.5	3.8	-	-	806.0	141.0	3.2	625	6.6	0.20
	R - 416	24	4.0	0.02	-	32.0	4.3	0.9	1.6	73.2	-	22.0	5.3	-	-	318.0	70.7	17.3	272	6.4	0.20
	R - 422A	40	4.0	0.16	-	6160.0	12384.0	345.0	11.0	97.2	4.8	80.0	132.0	-	-	1008.0	12375.0	34625.0	1199	6.5	0.60
	S - 497	26	8.0	0.04	-	30.4	5.3	0.9	0.4	117.15	-	0.5	1.3	-	1.8	150.0	86.0	12.0	193	7.2	0.04
	R - 207	23	10.0	0.2	-	35.4	6.0	13.0	4.7	6.1	115.2	38.0	2.6	-	0.1	154.0	60.0	52.0	237	7.8	0.50
	S - 231	19	4.0	2.3	-	21.0	3.1	5.2	0.6	79.3	6.0	17.0	3.8	-	0.7	218.0	126.0	55.2	334	6.9	1.20
	R - 264	27	10.0	0.3	-	50.0	14.7	4.6	0.8	115.9	-	11.2	2.3	-	0.6	307.0	135.0	50.2	317	7.2	0.80
	S - 275	22	15.0	0.2	-	17.2	20.0	12.0	0.2	66.5	-	5.0	6.7	-	9.6	97.0	39.0	86.0	115	6.7	2.80
	R - 276	21	15.0	0.0	-	3.4	10.3	1.8	0.0	290.5	60.6	0.5	1.8	-	1.0	40.0	10.5	40.7	26	5.6	0.70
	S - 277	21	0.0	1.4	-	10.0	0.2	2.5	0.4	48.2	-	0.5	2.6	-	0.9	43.0	24.0	0.8	68	6.6	1.30
	S - 278	22	10.0	0.9	-	14.4	4.0	6.9	0.0	146.4	-	2.0	7.3	-	1.2	172.0	39.0	13.4	127	7.1	2.30
	S - 279	23	15.0	0.3	-	42.0	6.0	6.0	1.2	147.7	-	15.0	6.0	-	1.0	279.0	108.0	21.2	283	6.8	1.20
	S - 280	23	15.0	0.2	-	48.0	4.3	6.0	0.8	183.1	-	14.0	5.4	-	1.4	212.0	101.0	34.2	279	6.6	1.20
	S - 281	23	10.0	0.2	-	30.4	4.0	9.2	0.8	133.0	-	19.3	10.8	-	2.9	180.0	81.0	11.0	262	6.7	2.20
	R - 282	21	15.0	1.9	-	15.0	41.0	6.0	0.4	48.8	-	9.5	8.3	-	1.2	100.0	27.0	27.0	117	6.2	1.30
	S - 285	22	10.0	0.3	-	38.0	5.0	2.8	0.8	117.2	9.3	9.5	2.3	-	2.6	180.0	88.0	26.4	226	6.9	0.60
	R - 286	21	10.0	0.02	-	26.4	24.5	2.8	0.8	140.3	-	5.2	2.8	-	2.1	210.0	128.0	40.0	300	7.1	0.60
	S - 287	26	15.0	0.4	-	19.2	18.0	4.6	0.8	139.1	-	10.5	2.8	-	1.2	127.0	167.0	5.0	384	7.4	0.26
	S - 288	25	15.0	0.9	-	20.0	30.0	3.7	0.4	111.1	-	24.5	2.8	-	1.5	246.0	152.0	22.0	372	6.7	0.74
	R - 290	26	8.0	0.3	-	23.2	22.0	3.7	0.4	267.3	-	10.5	2.5	-	1.4	230.0	129.0	20.2	311	6.9	1.04
BARRANQUIN	R - 291	23	8.0	0.9	-	33.0	15.0	2.8	0.4	323.4	-	3.2	1.8	-	3.6	210.0	125.0	18.2	281	6.9	0.57
(Kba)	S - 292	23	10.0	2.3	-	42.4	18.0	2.8	0.4	64.7	-	17.5	2.4	-	2.1	200.0	139.0	41.0	351	6.8	0.50
	R - 338	23	20.0	1.4	-	5.2	4.3	0.5	1.2	92.8	-	9.0	8.0	-	1.3	40.0	5.3	25.7	19	6.8	0.04
	R - 332A	24	8.0	0.2	-	18.9	4.5	0.9	0.4	105.0	9.0	5.0	5.3	-	3.72	200.0	111.0	0.1	259	7.4	0.11
	S - 332B	24	15.0	1.0	-	10.0	1.8	0.9	0.4	24.0	-	6,2	6.4	-	0.7.	100.0	20.0	12.4	96	7.1	0.17
	R - 332C	24	10.0	0.2	-	19.6	2.2	18.4	0.4	96.4	-	1.5	7.7	-	1.2	120.0	58.5	-0.5	147	7.2	1.64
	R - 343	23	8.0	1.0	-	7.2	3.0	0.5	0.4	317.3	9.0	11.0	5.6	-	0.1	128.0	48.0	-18.0	131	7.3	0.63
	S - 630	23	10.0	1.5	-	3.8	4.2	14.5	0.3	133.6	4.8	5.2	5.4	-	0.35	30.0	18.0	9.2	47	6.6	1.21
	S - 646	42	25.0	1.9	-	10.0	10.1	237.0	30.5	917.1	60.9	30.0	1.3	-	2.0	1104.0	24.0	42.0	1690	7.6	12.60
	S - 647	24	10.0	1.9	-	8.0	4.0	0.9	0.0	47.0	-	5.2	1.3	-	0.7	52.0	19.0	16.2	48	6.6	0.07
	S - 670	25	6.0	1.1	-	31.2	6.0	46.0	3.0	234.3	28.8	52.5	18.0	-	0.3	380.0	164.0	-61.6	507	7.6	1.98
	R.af- 20	24	8.0	0.02	-	49.1	2.7	0.5	0.0	190.4	-	9.5	6.5	-	1.6	174.0	120.8	11.2	247	7.6	0.02

FORMATION	No ECHANTI.	TEMP. °C	SIO_2	FE	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	SO_4	CL	F	NO_3	TSD	TAC	P	COND	PH	RAS (meq)
	R.af- 21	25	10.0	0.62	-	50.0	3.3	0.9	0.4	142.8	-	17.0	5.2	-	0.95	180.0	122.5	15.5	267	7.6	0.03
	R.af- 22	20	10.0	0.05	-	11.8	3.2	0.9	0.0	65.9	-	2.0	8.5	-	0.45	86.0	31.0	12.0	77	7.3	0.06
	S.af- 23	24	10.0	0.1	-	7.2	2.2	0.9	0.0	51.9	-	1.0	11.0	-	0.60	52.0	25.0	2.0	59	7.1	0.08
	R.af- 24	21	10.0	0.4	-	20.2	0.86	0.9	0.0	94.0	-	2.5	10.0	-	0.10	108.0	57.9	-3.9	146	7.3	0.05
	R.af- 25	19	10.0	0.1	-	20.6	3.2	0.9	0.0	92.4	-	2.0	11.2	-	0.01	110.0	57.9	8.3	146	7.5	0.05
	R.af- 26	23	8.0	0.6	-	16.6	2.6	4.6	0.4	134.2	-	4.0	16.6	-	0.85	150.0	81.0	-28.8	177	7.1	0.28
	R.af- 27	25	10.0	0.1	-	11.5	1.5	0.9	0.0	55.5	-	5.0	13.0	-	0.10	116.0	38.6	-1.6	83	7.3	0.04
BARRANQUIN	S.af- 30	26	10.0	0.3	-	6.0	3.4	1.8	0.0	76.9	-	1.0	13.0	-	0.30	70.0	46.3	-17.3	90	7.2	0.15
(Kba)	S.af- 31	25	8.0	0.4	-	1.0	0.8	3.7	0.0	34.8	-	0.5	1.9	-	0.10	78.0	5.8	0.0	53	5.9	5.90
	R.af- 32	25	15.0	0.3	-	31.1	4.9	2.8	0.4	158.7	-	9.0	14.5	-	0.20	192.0	114.0	15.7	251	7.5	0.12
	S.af- 35	26	10.0	0.7	-	80.0	15.6	28.0	1.2	239.5	10.8	28.4	32.0	-	0.40	500.0	295.3	-30.1	729	7.6	0.74
	S.af- 36	24	15.0	0.5	-	4.3	1.5	4.6	0.4	30.5	-	2.5	24.0	-	0.40	76.0	17.4	-0.3	83	6.6	0.49
	S.af- 37	24	8.0	0.2	-	23.0	9.2	8.3	0.4	120.2	-	7.2	37.0	-	0.20	101.0	84.2	11.9	292	7.3	0.37
	S.af- 38	24	10.0	2.0	-	2.2	1.0	1.8	0.01	21.4	-	1.0	15.5	-	0.30	32.0	5.8	-3.9	37	6.1	0.10
	S.af- 39	25	20.0	0.8	-	40.3	4.8	6.0	1.2	92.8	-.	13.0	27.0	-	4.00	192.0	66.0	34.6	247	6.4	0.24
	S.af- 40	29	10.0	0.1	-	2.3	2.5	0.5	0.0	25.6	-	0.1	11.0	-	0.60	29.0	5.0	11.2	21	5.4	0.06
	S.af- 42	24	8.0	0.4	-	2.0	1.8	0.5	0.0	29.3	-	4.0	19.0	-	0.40	34.0	13.5	-0.7	23	6.4	0.06
	S.af- 43	24	15.0	0.4	-	1.9	3.2	12.0	0.0	54.9	-	2.0	18.0	-	0.60	74.0	34.7	16.7	69	6.9	1.24
	S.af- 47	26	10.0	0.4	-	22.8	0.2	2.8	0.0	68.3	-	4.3	13.0	-	1.40	124.0	57.9	-0.3	125	7.4	0.16
	S.af- 48	27	15.0	0.3	-	10.1	3.0	0.9	0.0	19.5	-	1.0	13.0	-	0.20	54.0	11.6	26.4	51	6.6	0.07
	S.af- 33	28	15.0	0.4	-	45.0	10.0	51.0	0.4	364.3	34.2	35.0	40.0	-	1.40	614.0	237.8	84.8	923	7.7	1.80
	S.af- 34	26	10.0	0.3	-	7.2	6.5	12.0	0.0	223.6	8.1	20.0	23.0	-	0.20	392.0	251.0	-44.0	567	7.3	0.78
MORRO BLANCO	S.af- 45	26	10.0	0.3	-	23.2	65.5	18.4	1.2	147.7	-	41.0	40.5	-	0.20	766.0	116.5	-15.5	937	7.1	0.44
(Kbamb)	R.af- 46	26	8.0	0.1	-	21.6	4.3	4.0	0.4	20.1	-	2.0	19.0	-	0.30	136.0	69.5	2.5	195	6.9	0.20
	L - 520	23	4.0	0.5	-	141.0	30.0	45.0	2.4	133.6	-	245.0	132.0	-	0.30	-	42.0	435.2	1403	7.2	0.87
	P 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	565.0	-	-	-	540.0	-	-	7.1	-
	P - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	476.0	-	-	-	492.0	-	-	7.2	-
	P - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	423.0	-	-	-	448.0	-	-	7.2	-
	P - 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	129.0	-	-	-	342.0	-	-	7.1	-

17 FEV. 1982

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.42

IVR imprimerie - Tél. 54 77 82